

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN
DE VINAGRE A PARTIR DE MELAZAS DE
REMOLACHA AZUCARERA

Autora: Almudena GONZÁLEZ ALBA

Fecha: Noviembre 2014





FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE VINAGRE A
PARTIR DE MELAZAS DE REMOLACHA AZUCARERA**

RESUMEN DEL PFC

AUTOR:

DÑA. ALMUDENA GONZÁLEZ ALBA

TUTORES:

**D. DOMINGO CANTERO MORENO Y D. MARTÍN RAMÍREZ
MUÑOZ**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TECNOLOGÍA
DE LOS ALIMENTOS**

FIRMA DEL ALUMNO:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Almudena', with a horizontal line and a flourish underneath.

RESUMEN

Según el Real Decreto 56/2002, de 18 de enero, se describe a la melaza de remolacha como “un subproducto constituido por el residuo de jarabe recogido durante la fabricación o el refinado del azúcar procedente de remolachas azucareras”.

Es interesante destacar la gran cantidad de nutrientes presentes en las melazas, haciéndolas aptas como suplemento alimenticio en gran variedad de piensos animales.

Las melazas de remolacha serán el sustrato en la primera etapa de fermentación alcohólica, donde las levaduras del género *Saccharomyces*, en concreto las de la especie *Saccharomyces cerevisiae*, llevarán a cabo dicho proceso anaeróbicamente para obtener etanol.

Debido al alto porcentaje de azúcares presentes en las melazas (alrededor de un 50%), hacen de ellas un medio no fermentable, por lo que es necesario realizar una dilución de las mismas para rebajar dicho porcentaje (24%) y aumentar la actividad del agua posibilitando el crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae*.

Según el Real Decreto 661/2012, de 13 de abril, el vinagre se define como “el líquido apto para el consumo humano resultante de la doble fermentación alcohólica y acética de productos de origen agrario”. La fermentación acética se lleva a cabo mediante las bacterias del género *Acetobacter*, un género de bacterias aerobias, que transformarán el etanol obtenido en ácido acético.

Aprovechando las producciones de remolacha azucarera en la provincia de Cádiz, que son el suministro de la Azucarera Ebro (proveedor de melazas) y el aumento del consumo nacional de vinagres de diferentes procedencias, se plantea en el proyecto una vía alternativa para el aprovechamiento de dichas melazas, que hasta entonces, su única salida habría sido el de proporcionar nutrientes a piensos animales.

La planta diseñada en el proyecto tendrá una producción anual de 1250 m³ de vinagre. Consta de una nave que ha sido dividida en dos partes: en una de ellas se llevará a cabo el proceso de producción de etanol y en la otra el proceso de producción de vinagre.

La nave consta de cuatro fermentadores alcohólicos y cuatro fermentadores acéticos de 15 m³ de capacidad cada uno de ellos, un tanque de almacenamiento de melazas concentradas de 90 m³, un tanque de almacenamiento de melazas diluidas de 75 m³, un depósito de almacenamiento de vinagre de 60 m³, dos tanques pulmón y

uno de etanol de 30 m³ cada uno de ellos, un equipo de filtración tangencial, cuatro equipos de filtración a vacío y una torre de refrigeración del agua que circula por el interior de los serpentines que se encuentran en el interior de los fermentadores. La torre de refrigeración no ha sido objeto de diseño en el presente proyecto pero se ha considerado importante su instalación debido a los costes de agua de red que ahorraría a la planta.

Como novedad, se ha optado por la instalación de agitadores/aireadores de efecto Venturi, los cuales producen un torrente de burbujas de aire en el interior del fermentador acético al introducir una corriente de aire mezclada con el caldo de fermentación succionado previamente.

En el presente Proyecto Final de Carrera se ha abordado el diseño de las unidades de fermentación alcohólica y acética haciendo uso del código ASME Sección VIII División 1.

Además se ha realizado el modelado de los fermentadores, ajustando cada uno de los procesos a un modelo cinético distinto adecuado para cada tipo de fermentación. Dicho modelado se ha llevado a cabo utilizando la herramienta de software matemático MATLAB.

Posteriormente, se han diseñado los depósitos de almacenamiento descritos anteriormente haciendo uso de la normativa americana API 650 (American Petroleum Institute).

También se han realizado los cálculos para diseñar y seleccionar los siguientes elementos de la planta:

- Diseño de la red de tuberías de la planta mediante ASME B31.3. y las pérdidas de carga que presentaría.
- Selección de bombas y cálculo de su altura útil, potencia y altura neta de succión positiva disponible.
- Diseño del serpentín interno y caudal másico de agua que circula a través del mismo.

Finalmente se ha realizado un estudio económico en el cual se garantiza una rentabilidad mínima de la planta de un 20%, teniendo en cuenta que a partir un 15% ya se considera rentable.

Documentos del Proyecto

Documento A: Memoria

A.1. Memoria Descriptiva

A.2. Anexos a la Memoria

Documento B: Planos

Documento C: Pliego de Condiciones

Documento D: Presupuesto

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Documento A: Memoria.

A.1. Memoria Descriptiva.

Facultad de Ciencias. Universidad de Cádiz.

Título de Ingeniero Químico. Proyecto Final de Carrera.

Almudena González Alba
Diciembre, 2014

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	7
1.1. Introducción	7
1.1.1. Vinagre	7
1.1.2. Composición química del vinagre	7
1.1.3. Historia del vinagre.....	7
1.1.4. Mecanismos de obtención del vinagre	8
1.1.5. Producción y consumo	11
CAPÍTULO 2: OBJETO DEL PROYECTO	13
2.1. Objeto del proyecto	13
CAPÍTULO 3: JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	14
3.1. Justificación del proyecto.....	14
CAPÍTULO 4: VIABILIDAD	15
4.1. Viabilidad Técnica	15
4.2. Viabilidad Económica	17
4.3. Viabilidad Legal.....	19
CAPÍTULO 5: UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	20
5.1. Ubicación.....	20
5.1.1. Condiciones climáticas de la zona	21
5.2. Distribución en planta.....	22
CAPÍTULO 6: MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS	24
6.1. Introducción	24
6.2. Materias primas.....	24
6.1.1. Melazas de remolacha azucarera	24
6.1.2. Agua.....	26
6.1.3. Aire	29
6.3. Productos	29
6.3.1. Producto final: Vinagre.....	29
6.4. Servicios auxiliares	31
6.4.1. Suministro eléctrico	31

6.4.2. Agua de refrigeración.....	32
6.4.3. Agua de red.....	32
CAPÍTULO 7: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO	33
7.1. Introducción	33
7.2. Almacenamiento de la materia prima	33
7.3. Acondicionamiento de la materia prima	33
7.4. Concepto de fermentación	34
7.5. Clasificación de los procesos fermentativos	35
7.6. Curva de crecimiento de un microorganismo.....	36
7.7. Efecto de la concentración de sustrato sobre la velocidad de crecimiento: Ecuación de Monod.....	37
7.8. Fermentación alcohólica.....	38
7.8.1. Microorganismo seleccionado y método de cultivo.....	41
7.8.1.1. Características.....	41
7.8.1.2. Diseño del medio de cultivo	45
7.8.2. Selección del modo de operación y modelo matemático utilizado	46
7.8.2.1. Modo de operación	46
7.8.2.2. Modelo matemático: Cinética de Hinshelwood	48
7.9. Fermentación acética	50
7.9.1. Microorganismo seleccionado y método de cultivo.....	50
7.9.1.1. Características.....	50
7.9.1.2. Diseño del medio de cultivo	51
7.9.2. Selección del modo de operación y modelo matemático utilizado	52
7.9.2.1. Modo de operación	52
7.9.2.2. Modelo matemático: Cinética de Monod: inhibición por sustrato, producto y oxígeno.....	52
7.10. Instrumentación y control.....	55
7.10.1. Sistema de control para los tanques de almacenamiento y los tanques pulmón	55
7.10.2. Sistema de control para los fermentadores	55
7.10.2.1. Control de temperatura	55
7.10.2.2. Control de nivel.....	56

7.10.2.3. Control de oxígeno disuelto.....	57
7.10.2.4. Control de acidez.....	57
CAPÍTULO 8: TANQUES DE ALMACENAMIENTO	59
8.1. Introducción	59
8.2. Diseño	60
8.2.1. Tanque de almacenamiento de melaza concentrada.....	60
8.2.2. Tanque de almacenamiento de melaza diluida.....	60
8.2.3. Tanque de almacenamiento de vinagre.....	60
8.2.4. Tanque de almacenamiento de etanol y tanques pulmón	61
CAPÍTULO 9: FERMENTADORES.....	62
9.1. Introducción	62
9.2. Definición y requisitos fundamentales	62
9.3. Tipos de fermentadores.....	63
9.4. Diseño de fermentadores	69
9.4.1. Principales elementos de los fermentadores	69
9.4.2. Sistema de refrigeración de los fermentadores acéticos	71
CAPÍTULO 10: SISTEMAS DE FILTRACIÓN	73
10.1. Concepto de filtración	73
10.2. Etapas de filtración llevadas a cabo en el proceso.....	73
10.3. Tipos de filtros más utilizados en los procesos de fermentación	74
10.3.1. Filtro prensa	74
10.3.2. Filtro rotatorio a vacío.....	75
10.3.3. Sistema de filtración tangencial.....	76
CAPÍTULO 11: SISTEMA DE TUBERÍAS	78
11.1. Tuberías.....	78
11.2. Material utilizado en las tuberías	79
11.3. Accesorios	80
CAPÍTULO 12: SISTEMAS DE IMPULSIÓN	81
12.1. Introducción	81
12.2. Criterios para selección de bombas.....	81
12.3. Tipos de bombas.....	82
12.3.1. Bombas de desplazamiento positivo	83

12.3.1.1. Bombas alternativas	83
12.3.1.2. Bombas rotatorias	85
12.3.2. Bombas centrífugas.....	88
12.3.2.1. Características del funcionamiento de las bombas centrífugas	90
12.3.3. Características más significativas de las bombas de desplazamiento positivo y de las bombas centrífugas.....	91
CAPÍTULO 13: SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	93
13.1. Seguridad del proceso	93
13.1.1. Legislación en materia de Seguridad	112
13.1.2. Legislación en materia de Higiene en el Trabajo	114
13.2. Medio Ambiente	114
13.2.1. Emisiones a la atmósfera.....	115
13.2.2. Gestión de residuos.....	115
CAPÍTULO 14: MANTENIMIENTO.....	121
14.1. Introducción	121
14.2. Funciones del mantenimiento.....	121
14.3. Tipos de mantenimiento	123
14.4. Política de mantenimiento.....	126
14.5. Plan de mantenimiento	127
14.5.1. Mantenimiento de la planta	128
14.6. Costes de mantenimiento	129
BIBLIOGRAFÍA.....	131

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

1.1.1. Vinagre

El vinagre es un líquido apto para el consumo humano que es producido exclusivamente a partir de materias primas de origen agrícola, de productos idóneos que contengan almidón o azúcares por el procedimiento de doble fermentación, alcohólica y acética.

Las materias primas para fabricar este producto tan utilizado por el hombre en la cocina, tanto por su sabor agrio como su utilización como conservante, son muy diversas, por lo que encontramos una gran multitud de tipos de vinagre: vinagre de vino, de frutas o bayas, de cereales, de malta, balsámico, de alcohol, etc.

1.1.2. Composición química del vinagre

El vinagre es esencialmente una solución diluida de ácido acético hecho por fermentación, a la que se le agregan sales y extractos de otras materias. Estas sustancias adicionales, cuya naturaleza y cantidad exacta dependen sobre todo del ingrediente utilizado, dan al producto su cualidad distintiva. El azúcar es la base en la producción del vinagre.

1.1.3. Historia del Vinagre

El vinagre se conoce desde hace más de 4000 años, sin embargo en estos tiempos no se elaboraba conscientemente, si no era fruto de circunstancias casuales. Hubo que esperar hasta que Luis Pasteur (1822-1895) descubriera el secreto de la fermentación acética y para que se supiera que la acción de un microorganismo llamado *Acetobacter aceti*, transformara el etanol en ácido acético.

La historia del vinagre se confunde con la del vino, ya que el vino es padre legítimo del vinagre. Vinagre, etimológicamente hablando, quiere decir en latín “vinum acre” o vino agrio, es decir, vino cuyo alcohol se ha acetificado por la intervención de unos microorganismos llamados *Mycoderma aceti*. Los libros Sagrados ya hablan del vinagre, lo que demuestra que éste, desde los tiempos bíblicos, era ya conocido y además ampliamente empleado.

Más tarde, hicieron mención a Aristóteles, Hipócrates, Galeno, Plinio; pero sus escritos revelan ideas un poco confusas e inciertas sobre el origen y sobre la naturaleza del vinagre. Plinio afirma que el vinagre es un producto de la descomposición del vino, es decir, el resultado de un hecho accidental.

La fabricación del vinagre, como industria verdadera y propia comenzó a nacer en la edad media, al desarrollarse y afirmarse el artesanado en las ciudades europeas. En el año 1394 fue reconocida la Corporación de fabricantes de vinagre.

Los alquimistas desde el siglo VIII, sabían ya destilar el vinagre para obtener soluciones concentradas. En Francia, en el siglo XVIII, cuando Lavoisier, descubrió el quimismo de la acetificación, mientras Davy, fue el primero que dio la ecuación química del fenómeno de la acetificación.

Los sucesivos descubrimientos de los agentes químicos de la fermentación acética, debido sobre todo al gran Pasteur, 1862, dieron las bases científicas para la fabricación racional del vinagre.

Pasteur afirma que siempre que el vino se transforma en vinagre, es debido a la acción de un velo de *micoderma aceti* desarrollado en su superficie: “no existe, en ningún sitio, una gota de vino, avinagrado espontáneamente, en contacto con el aire, sin que el *micoderma aceti* haya estado presente previamente”.

1.1.4. Mecanismos de obtención del vinagre

La producción de ácido acético puede realizarse a través de distintas rutas : Carbonilación del metanol (75 % de la producción por vía química) ,Oxidación del acetaldehído, Oxidación del etileno, Fermentación oxidativa (10% la ruta biológica) y Fermentación anaeróbica.

Carbonilación del metanol:

La reacción de carbonilación de metanol usaba en un principio, un catalizador homogéneo constituido por compuestos de cobalto y yodo, pero hoy en día, se usa un catalizador homogéneo también, pero que tiene contenido de compuestos de rodio y yodo, lo que lo hace mucho más activo. La reacción tiene lugar en fase líquida a una temperatura de unos 150-200°C y con una ligera sobrepresión, llegando a una selectividad del 99%. Este es un método que en la actualidad domina el mercado al conseguirse un reciclado, prácticamente total, del catalizador eficaz de rodio, con un alto precio, así como también un excelente control del proceso, el cual en la actualidad es totalmente automatizado.

Oxidación del acetaldehído:

La oxidación del acetaldehído con aire o con O_2 a acético transcurre como reacción de radicales a través del ácido paracético como producto intermedio.

En detalle se produce primero la iniciación de la reacción por un radical acetilo, que con O_2 forma el radical peróxido terminado con la formación del ácido paracético. Aunque éste puede sufrir una homólisis del grupo peróxido y pasar a acético, se supone, sin embargo, que el paracético reacciona preferentemente con acetaldehído, dando un α -hidroxetilparacetato, que después por un mecanismo de transición cíclico se disocia en dos moléculas de acético.

Así pues, también el ácido paracético puede ser el producto principal si la oxidación se realiza en condiciones suaves y preferentemente sin catalizador y en un disolvente, como, por ejemplo, acetato de etilo, a -15 hasta 40°C y 25-40 bars y con aire.

Fermentación oxidativa:

Durante la mayor parte de la historia de la humanidad, el ácido acético, en la forma de vinagre, ha sido preparado por bacterias del género *Acetobacter*. En

presencia de suficiente oxígeno, estas bacterias pueden producir vinagre a partir de una amplia variedad de alimentos alcohólicos. Algunos insumos comunes son la sidra, el vino, cereal fermentado, malta, arroz, o patatas.

Una solución diluida de alcohol, inoculada con *Acetobacter* y mantenida en un lugar cálido y aireado se hará vinagre en el transcurso de algunos meses. Los métodos industriales de preparación de vinagre aceleran este proceso al mejorar el suministro de oxígeno a las bacterias.

La mayor parte del vinagre hoy en día es hecho en cultivo de tanque sumergido, descrito por primera vez en 1949 por Otto Hromatka y Heinrich Ebner. En este método, el alcohol se fermenta a vinagre en un tanque agitado continuamente, y se suministra oxígeno burbujeando aire a través de la solución. Usando aplicaciones modernas de este método, se puede preparar vinagre de 15% ácido acético en sólo 24 horas en un proceso por lotes, incluso de 20% en 60 horas.

Fermentación anaeróbica:

El proceso metabólico se basa en la conversión del etanol, bajo la acción de la alcoholdehidrogenasa, en acetaldehído y del acetaldehído hidratado en ácido acético por la acción de la acetaldehído deshidrogenasa: vinagre (solución diluida de ácido acético Materia prima : etanol purificado diluido, fuente de nitrógeno y una combinación apropiada de minerales. Micro organismos empleados: bacterias ácido-lácticas los géneros *Acetobacter* y *Gluconobacter*.

Algunas especies de bacterias anaeróbicas, incluyendo miembros del género *Clostridium*, pueden convertir los azúcares en ácido acético directamente, sin usar etanol como intermediario.

Más interesante desde el punto de vista de un químico industrial es el hecho que estos acetógenos pueden producir ácido acético a partir de compuestos de un carbono, incluyendo metanol, monóxido de carbono, o una mezcla de dióxido de carbono e hidrógeno.

Esta habilidad de *Clostridium* para utilizar los azúcares directamente, o para producir ácido acético de insumos menos costosos, significa que estas bacterias

podrían producir ácido acético más eficientemente que los oxidadores de etanol como *Acetobacter*. Sin embargo, las bacterias *Clostridium* son menos tolerantes al ácido que las *Acetobacter*. Incluso las cepas de *Clostridium* más tolerantes al ácido sólo pueden producir vinagre de muy baja concentración porcentual de ácido acético, comparado con cepas de *Acetobacter* que pueden producir vinagre de hasta 20% ácido acético.

1.1.5. Producción y consumo

Las exportaciones de vinagres españoles son un recurso clave para mantener las cifras de producción del sector, ya que la demanda interior (La media de consumo de vinagre en España se sitúa alrededor de los 1,5 L por persona y año) es incapaz de absorber la totalidad de la oferta producida.

El año pasado se exportó alrededor de 32 millones de litros de vinagre y aumentaron significativamente las exportaciones de vinagre envasado. Los principales lugares de exportación son Francia, Reino Unido, Estados Unidos e Italia.

Las importaciones superan los 11 millones de litros y nuestro principal proveedor es Italia con el 48,7 % del total en volumen con respecto a vinagres balsámicos de Módena que tienen mucha demanda en nuestro país.

Aunque se elabora vinagre en la mayoría de la geografía española, sólo existen Denominaciones de Origen y Garantía de Calidad en 2 regiones: Andalucía, para las primeras, y Aragón, para las segundas.

Los vinagres de vino continúan acaparando la mayoría de las ventas en volumen con el 74,5 % del total, aunque su cuota en valor es de un 27,2 %. Los vinagres especiales por su parte, representan el 23,1 % mientras que las cremas de vinagre constituyen la categoría más dinámica con incrementos interanuales del 19,2 % en volumen.

En cualquier caso la principal novedad en el consumo de vinagre en España es la progresiva importancia de las presentaciones de mayor valor añadido, en particular

de las cremas de vinagre, mientras que los vinagres más comunes tienden a perder importancia de año en año.

CAPÍTULO 2: OBJETO DEL PROYECTO

2.1. Objeto del proyecto

El objeto del presente Proyecto Fin de Carrera es el diseño de una planta industrial para la obtención de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

La línea de proceso proyectada es diseñada para producir aproximadamente 1.250.000 litros de vinagre anuales a través de la ruta biológica y el posterior acondicionamiento del producto final.

La descripción del proceso y dimensionamiento de las principales unidades de la planta industrial estarán incluidas en este. Además se realizará la descripción de equipos auxiliares.

En resumen, se pretende proponer un proceso alternativo a la producción de vinagre utilizando una materia prima inusual para dicho proceso: un subproducto generado en el proceso de producción de azúcar, la melaza de remolacha azucarera.

CAPÍTULO 3: JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

3.1. Justificación del proyecto

El presente proyecto trata de producir vinagre a partir de un subproducto generado en el proceso industrial de producción de azúcar, la melaza de remolacha azucarera.

La melaza de remolacha es una materia prima con un alto contenido en azúcares fermentables, como es el caso de la sacarosa, por lo que facilita y mejora el crecimiento de microorganismos, siendo estos las levaduras encargadas de llevar a cabo este proceso, *Saccharomyces cerevisiae*.

Dichos microorganismos convertirán las melazas en etanol, de manera que este último sirva como sustrato a unas bacterias (*Acetobacter aceti* s.p.) para producir vinagre.

Además, la melaza de remolacha es un producto fácil de obtener y económico, de modo que se contribuirá a mantener los cultivos de remolacha en la provincia de Cádiz, donde habitualmente se tiene una recolección estival de 1.816 ha/109.900 toneladas y que en los últimos tiempos ha sufrido un descenso del 70 %.

Igualmente, supondrá un beneficio económico para la Azucarera Ebro, encargada de suministrar estas melazas.

Por tanto, por lo expuesto con anterioridad, queda totalmente justificada la realización del presente Proyecto Fin de Carrera, cuyo objetivo final es la producción y comercialización del vinagre obtenido a partir de esta materia prima.

CAPÍTULO 4: VIABILIDAD

4.1. Viabilidad Técnica

En el presente proyecto se aborda el diseño de una planta de producción de vinagre mediante la doble fermentación de un subproducto procedente de la industria azucarera.

Se pretende que la planta diseñada se ubique en la misma zona industrial donde se encuentra la Azucarera Ebro, que se sitúa en el Polígono Industrial de El Portal, en Jerez de la Frontera.

La actividad de la planta diseñada en esta zona representaría muchas ventajas para la propia azucarera, pudiendo considerarse como una inversión de futuro, dada la crisis económica actual. Además, dicha planta necesitará personal, creando puestos de trabajo nuevos.

También aportaría a la zona un aumento a nivel agrícola, aumentando la producción de remolacha.

Se trata por tanto, de una alternativa innovadora, ya que, hasta ahora, la principal salida que ha tenido este subproducto ha sido la elaboración de piensos para ganado debido a su alto contenido en nutrientes.

Existen distintas maneras de producir vinagre actualmente, pero la que se describe en el proyecto presenta varias ventajas:

- Se le da otro uso a un subproducto, las melazas de remolacha, que, hasta la fecha, se había empleado mayormente para la elaboración de piensos para ganado. Además de esto, el suministro de estas melazas se encuentra asegurado sin que suponga un alto coste, debido a que la

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

planta diseñada se encuentra dentro de la misma zona industrial que la azucarera.

- El proceso diseñado es económico desde el punto de vista de la cantidad de materia prima utilizada. Estas son: melazas de remolacha, agua, levaduras y bacterias usadas en los procesos de fermentación, y energía eléctrica.
- No se generan apenas residuos puesto que:
 - La materia prima de partida (melazas de remolacha) se degrada hasta el punto de obtener el producto final deseado, el vinagre.
 - El agua procedente de la red se utilizará para diluir las melazas y conseguir disminuir su concentración en azúcares, lo que las hace fermentables.
 - El agua procedente de la red que circula a través de los serpentines se conducirá hacia una torre de refrigeración lo que hace posible la reutilización de dicho agua.
 - Las levaduras utilizadas (*Saccharomyces cerevisiae*) en el proceso de fermentación alcohólica se recuperarán mediante un filtro rotatorio a vacío y se les dará otros usos como son: suplemento alimenticio en piensos, abonos agrícolas.
 - Las bacterias acéticas usadas (*Acetobacter aceti*) en el proceso de fermentación acética se recuperarán en un proceso de filtración tangencial y se llevarán a una empresa especializada en el tratamiento de este tipo de microorganismo.

4.2. Viabilidad Económica

La planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera diseñada reportará una serie de costes y beneficios.

Por lo general, en cualquier proceso de producción, la compra de la materia prima es la que supone un mayor coste. Sin embargo, se parte de una materia prima muy barata (alrededor de 175 €/tonelada ó 0,18 €/kg), y los costes por transporte de la materia prima se ve reducido ya que la planta se instalará en la misma zona industrial que la azucarera proveedora.

En el documento del Presupuesto, se justifica la viabilidad económica de la planta diseñada en el presente proyecto.

Habrà que realizar un análisis de los costes, por lo que deberán tenerse en cuenta los siguientes:

- Costes debidos a la materia prima utilizada (melazas de remolacha azucarera): como se ha comentado, se trata de una materia prima barata, rondando los 175 €/tonelada (0,18 €/kg).
- Costes de procesamiento, producción y almacenamiento: dentro de este apartado se encontrarían los costes asociados al proceso productivo, como son:
 - Seguridad e higiene en el proceso.
 - Mantenimiento de la planta y de los equipos.
 - Mano de obra de los operarios.
 - Agua de red, energía eléctrica, etc.

Las unidades del proceso trabajan bajo condiciones de presión y temperatura moderadas, por lo que los costes por operatividad no serán excesivamente altos.

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

- Costes debidos a la tecnología utilizada: dentro de este punto se incluyen los costes que corresponden al inmovilizado de las unidades de la línea de producción.
- Carga impositiva aplicada al producto final: el vinagre producido en la planta diseñada estará sujeto a un conjunto de impuestos determinados por la Agencia Tributaria del Estado Español.
- Costes de distribución y comercialización: dentro de este apartado se encontrarían los costes asociados a la publicidad, transporte del producto final, ventas, administración, financiación, etc.

Los beneficios que se generarán en la planta de producción de vinagre provendrán a partir de la comercialización del mismo. El coste para el cliente dependerá de la carga impositiva tributaria que se le asigne al producto final.

En cuanto a la rentabilidad económica, esta se manifestará en los siguientes aspectos:

- Intensidad de la inversión.
- Productividad.
- Participación del Mercado.
- Tasa de crecimiento del Mercado.
- Calidad del producto final.
- Optimización de residuos de la planta.
- Desarrollo de nuevos productos o diferenciación de competidores.
- Costos operativos.

4.3. Viabilidad Legal

La viabilidad legal viene determinada por la legislación y la normativa que el objeto del proyecto deberá cumplir, a nivel de producto y a nivel de fabricación del mismo.

Este tema se explica en el capítulo 14 del presente proyecto, donde se definen y se citan las distintas normas que se aplicarán a la planta de producción de vinagre diseñada.

CAPÍTULO 5: UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

5.1. Ubicación

A la hora de elegir la zona donde se ubicará la línea de proceso se tendrán en cuenta ciertas condiciones que la zona geográfica deberá tener para así poder asegurar el correcto funcionamiento de la planta y poder cubrir sus necesidades, como el suministro de materia prima, comunicaciones en la zona y el clima, entre otras.

La melaza de remolacha es la materia prima fundamental de la planta, por lo que la línea de proceso se ubicaría próxima a la Azucarera Ebro, en el Polígono Industrial de El Portal, en Jerez de la Frontera, en la provincia de Cádiz.

Este emplazamiento supondría reducir los costes por transporte de materia prima, además, se encuentra muy bien comunicado mediante vías terrestres y aéreas a Europa y el mercado nacional.

A continuación se muestra en la siguiente figura la ubicación de la línea de proceso en el Polígono Industria de El Portal.



Figura 5.1: Localización de la planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha.

5.1.1. Condiciones climáticas de la zona

El clima de la provincia de Cádiz es típico mediterráneo, se caracteriza por la singular distribución de las temperaturas y precipitaciones a lo largo del año.

Este clima está condicionado por una serie de factores. Estos factores son, por un lado, la latitud, en el extremo meridional de la Península, el relieve, que explica el régimen de lluvias y los fuertes vientos, y la influencia del mar, por el efecto termorregulador que tiene sobre el clima.

El año climatológico se divide en dos grandes estaciones. El invierno se caracteriza por temperaturas muy suaves, moderadas precipitaciones y alta insolación. En verano, la generación de una zona de bajas presiones provocada por el desplazamiento de las altas presiones subtropicales dominantes en invierno, provoca la aparición de regímenes de vientos de diferentes orígenes e intensidades (poniente y levante). Además, la sequedad sahariana que asciende latitudinalmente llega a afectar a la provincia en esta época.

♦ Temperaturas

Las temperaturas se caracterizan por su carácter suave y moderado. Los valores más elevados de la temperatura media anual corresponden a las zonas costeras y a la parte más occidental de la Campiña de Jerez. Por otro lado, los valores más bajos se sitúan en las zonas altas de las serranías del Noreste provincial.

Los meses más fríos son diciembre y enero, en los que las temperaturas medias no son muy bajas, superiores a 10°C para la mayor parte del territorio, salvo las zonas más elevadas de la Sierra de Cádiz, donde llegan a ser inferiores a 8°C.

Los meses de julio y agosto son los meses más cálidos, con unas temperaturas medias que se encuentran entre los 24 y 26°C. Los valores superiores corresponden a las zonas interiores de la Campiña de Jerez, siendo los más bajos los correspondientes a la comarca de la Sierra de Cádiz.

En términos absolutos, la temperatura máxima puede superar los 40°C en la zona interior de la campiña, y la mínima, localizada en la Sierra de Cádiz, puede llegar a ser inferior a -2°C.

♦ Precipitaciones

En la zona elegida para la construcción de la línea de producción de vinagre, el valor medio anual de precipitaciones registrado ha sido de 587 mm (Instituto Nacional de Estadística).

♦ Vientos

El viento es un elemento muy característico de la provincia, sobre todo en el Sur y la mitad occidental.

El viento de poniente es un viento atlántico del oeste y del Suroeste. Es húmedo y fresco, y origina precipitaciones al ascender hacia el interior, obligado por el relieve al condensarse la humedad que trae desde el mar.

El viento de levante se origina en la depresión sahariana, caracterizándose por ser cálido y seco, al ser su recorrido sobre el mar muy reducido. Este viento azota con bastante fuerza en la zona del Estrecho, que al actuar como un embudo, provoca una gran aceleración y turbulencia con velocidades medias de 36 km/h y rachas de hasta 150 km/h (Web de la Diputación de Cádiz).

5.2. Distribución en planta

La distribución de los distintos equipos en la planta se hará de manera que se respeten las distancias mínimas de seguridad en el caso de los equipos que presenten un riesgo para los trabajadores, como es el caso del Tanque Pulmón 1, que aloja en su interior etanol, y el tanque de almacenamiento de etanol.

Las distancias mínimas de seguridad para este tipo de equipos vienen recogidas en el Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas

explosivas en el lugar de trabajo. Igualmente quedan reflejadas en el documento de “Planos”.

El resto de equipos respetarán las distancias mínimas para que los operarios puedan acceder para realizar operaciones de mantenimiento.

CAPÍTULO 6: MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS

6.1. Introducción

En este capítulo se expondrán las características fundamentales de las materias primas que forman parte de la línea de proceso de producción y la descripción del producto final producido, el vinagre.

También se van a exponer las líneas de servicios auxiliares principales, como son el suministro eléctrico, el agua de refrigeración y el agua de red.

6.2. Materias Primas

Las materias primas que se van a necesitar para el proceso de producción de vinagre diseñado son las melazas de remolacha azucarera y el agua principalmente.

6.2.1. Melazas de remolacha azucarera

Las melazas son un subproducto de la industria azucarera que queda tras el proceso de obtención de azúcar bruto y refinado. Es un jarabe de color negruzco y bastante denso que se obtiene después del proceso de cristalización.

Existen dos tipos de producción de azúcar, por lo que también existen dos tipos de melazas: la de caña y la de remolacha.

La caña de azúcar se desarrolla en climas tropicales, tanto en el Norte como en el Sur del Ecuador y se cosecha a lo largo de todo el año.

La remolacha azucarera crece en climas templados, en Europa y América del Norte. La cosecha tiene lugar normalmente entre septiembre y enero.

Las melazas se usan habitualmente para:

- Alimentación animal: la mayor parte de las melazas se usa para la elaboración de piensos compuestos como para la alimentación directa en la

granja (como complemento o suplemento alimenticio de raciones forrajeras).

- Alcohol: los procesos fermentativos de los azúcares de la melaza permiten la obtención de alcohol, el cual se destina para diversos usos (bebidas alcohólicas, combustible, disolventes orgánicos, etc.).
- Levaduras: debido a la alta concentración de azúcares que posee la melaza, permite que sea un medio de cultivo óptimo para el crecimiento de levaduras, principalmente para la elaboración de pan y para la obtención de fármacos.
- Glutamato monosódico: saborizante de la carne y productos enlatados.
- Ácido cítrico: para alimentos y bebidas.
- Componente de salsas, jarabes y dulces.

	Caña	Remolacha
Humedad	25%	25%
Sustancia seca	75%	75%
Total materia orgánica	60-66%	63-65%
Azúcares totales	46-56%	46-52%
Materia orgánica no azucarada	9-12%	12-17%
Cenizas brutas	8-12%	8-11%

Valores medios del análisis de la melaza

Los valores que se muestran en la anterior tabla corresponden a valores medios, ya que puede existir una variabilidad en la composición en función del terreno, el clima, la variedad de la planta, estado de madurez de la planta y la eficiencia del proceso de obtención de azúcar.

Es importante destacar el contenido en azúcares en las melazas, ya que estos serán el sustrato en el proceso fermentativo de obtención de etanol. A continuación se muestran en la siguiente tabla los porcentajes de cada tipo de azúcar que existen en cada tipo de melaza:

	Caña	Remolacha
Sacarosa	30-40%	46-52%
Azúcares reductores	10-20%	0,2-1,2%
Rafinosa	-	0,5-2%
Galactinol	-	0,1-0,3%
Kestosa	-	0,1-0,4%
Azúcares no fermentables	3-5%	<1%

Contenido en azúcares en cada tipo de melaza

Como se puede observar, el contenido en sacarosa en el caso de la melaza de remolacha es mayor, además de que el porcentaje de azúcares no fermentables es menor que en el caso de la melaza de caña.

En el presente proyecto se utilizará la melaza proveniente de la remolacha azucarera, debido a su alto porcentaje en sacarosa, lo que permitirá obtener una mayor cantidad de etanol en el proceso fermentativo y por otro lado, para abaratar los costes debido al transporte de materia prima.

6.2.2. Agua

Como materia prima, el agua se usará para diluir las melazas de manera que se consiga una reducción tanto en densidad como en viscosidad, haciéndolas aptas para el crecimiento de las levaduras. El agua proveniente de red deberá tratarse previamente mediante un equipo de intercambio iónico para retirar elementos no deseables y que puedan interferir en la posterior etapa de fermentación.

El agua es una molécula inorgánica. Se trata de la molécula más abundante en los seres vivos. Está constituida por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. La unión de esos elementos con diferente electronegatividad proporciona una serie de características, como son:

- La molécula de agua forma un ángulo de 104,5°.
- Es una molécula neutra.

- Aun siendo neutra, forma un dipolo. Aparece una zona con un diferencial de carga positivo en la región de los átomos de hidrógeno, y una zona con diferencial de carga negativo, en la región del oxígeno.
- El dipolo facilita la unión entre moléculas, formando puentes de hidrógeno, que unen la parte electropositiva de una molécula con la electronegativa de otra.

El agua posee propiedades especiales debido a su estructura. Estas propiedades son:

- ELEVADO CALOR ESPECÍFICO: para incrementar la temperatura del agua en un grado centígrado es necesario comunicarle mucha energía para así poder romper los puentes de hidrógeno que se generan entre las moléculas.
- ELEVADO CALOR DE VAPORIZACIÓN: el agua absorbe mucha energía al pasar de estado líquido a gaseoso.
- ELEVADA TENSIÓN SUPERFICIAL: las moléculas de agua se encuentran muy cohesionadas debido a la acción de los puentes de hidrógeno. Esto conlleva a que se forme una película de agua en la zona de contacto del agua con el aire.
- CAPILARIDAD: el agua posee la propiedad de ascender por las paredes de un capilar debido a la alta cohesión o adhesión molecular.
- ALTA CONSTANTE DIELECTRICA: la gran mayoría de las moléculas forman un dipolo, con un diferencial de carga negativo y un diferencial de carga positivo.
- BAJO GRADO DE IONIZACIÓN: sólo un reducido número de moléculas de agua sufre disociación, generando iones positivos (H^+) e iones negativos (OH^-).

Las propiedades del agua permiten aprovechar esta molécula para diversas funciones, entre las que se encuentran:

- Disolvente polar universal: debido a la elevada constante dieléctrica que tiene, es el mejor disolvente para todas aquellas moléculas polares. Sin embargo, las moléculas apolares no se disuelven en el agua. Esta propiedad se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias que pueden presentar grupos polares o con carga iónica, lo que da lugar a disoluciones moleculares. Esta capacidad de disolvente es la responsable de dos funciones importantes para los seres vivos: es el medio en que transcurren la mayoría de las reacciones del metabolismo, y el aporte de nutrientes y la eliminación de desechos metabólicos se realizan a través de sistemas de transporte acuosos.
- Lugar donde se llevan a cabo las reacciones químicas: debido a que es un buen disolvente, a su bajo grado de ionización y a la elevada constante dieléctrica.
- Función estructural: debido a su alta cohesión molecular, el agua confiere estructura, volumen y resistencia.
- Función de transporte: por poseer una elevada constante dieléctrica, por ser un buen disolvente y por poder ascender por las paredes de un capilar, también por la elevada cohesión entre sus moléculas, los seres vivos usan el agua como medio de transporte por su interior.
- Función amortiguadora: por su elevada cohesión molecular, el agua sirve también como lubricante entre estructuras que friccionan y evita el rozamiento.
- Función termorreguladora: el agua es idónea para mantener constante la temperatura, absorbiendo el exceso de calor o cediendo energía si fuese necesario. Esto es debido al alto calor específico y al alto calor de vaporización.

6.2.3. Aire

En el proceso de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha, se realizará una doble fermentación: la primera es una fermentación alcohólica de las melazas diluidas para obtener etanol, que a su vez será el sustrato en el proceso fermentativo de obtención de vinagre.

En la fermentación alcohólica se operará anaeróbicamente, ya que la ausencia de oxígeno en el medio favorece la producción de etanol. Por el contrario, en la fermentación acética sí es necesario un aporte de oxígeno al medio ya que los microorganismos que la llevan a cabo lo necesitan para poder desarrollarse. Si el aporte de oxígeno al medio se viera interrumpido por más de 40 segundos, los microorganismos morirían y por consiguiente, la fermentación acética no se completaría.

Como fuente de oxígeno, necesario para el metabolismo celular, se utiliza aire en exceso proveniente de la atmósfera, que será suministrado por un compresor y conducido a los fermentadores a través de un aireador/agitador Venturi Jet.

6.3. Productos

6.3.1. Producto final: Vinagre

El vinagre dispone de varias definiciones según el reglamento que lo defina.

Según la Reglamentación Técnico Sanitaria lo define como:

“Un líquido apto para el consumo humano resultante de la doble fermentación, alcohólica y acética de productos de origen agrario que contengan azúcares o sustancias amiláceas, con una riqueza mínima de 50 g/L”.

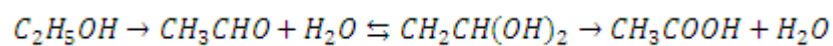
En la Unión Europea se define al vinagre como:

“Aquel líquido que se obtiene exclusivamente de la fermentación acética del vino y que presenta un grado de acidez no inferior a 60 g/L de ácido acético”.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS):

“El vinagre es un líquido para el consumo humano, que es producido exclusivamente a partir de materias primas de origen agrícola que contengan almidones y/o azúcares, por un doble proceso de fermentación, alcohólica y acética”.

Atendiendo a su definición biotecnológica, el vinagre es una solución acuosa de ácido acético, que se obtiene mediante la fermentación por oxidación de una solución diluida de etanol. El proceso metabólico se basa en la conversión de etanol, bajo la acción de la alcohol deshidrogenasa, en acetaldehído y del acetaldehído hidratado en ácido acético por la acción de la acetaldehído deshidrogenasa:



Tipos de vinagres:

Existen diversos tipos de vinagres dependiendo de cual haya sido la materia prima utilizada para su elaboración. Según el Real Decreto 661/2012, de 13 de abril, por el que se establece la norma de calidad para la elaboración y comercialización de los vinagres, existen los siguientes tipos de vinagres:

- Vinagre de vino: es el producto obtenido exclusivamente por fermentación acética del vino.
- Vinagre de frutas o vinagre de bayas: es el producto obtenido a partir de frutas o de bayas de fruta mediante fermentación alcohólica y acética.
- Vinagre de sidra: se obtiene por la fermentación acética de la sidra.
- Vinagre de alcohol: es el vinagre obtenido de la fermentación acética de alcohol de origen agrícola.
- Vinagre de cereales: es el producto obtenido por el proceso de doble fermentación alcohólica y acética, a partir de cualquier cereal en grano, cuyo almidón se haya transformado en azúcares mediante la diastasa de la cebada malteada o por cualquier otro proceso.
- Vinagre de malta: es el producto obtenido por el procedimiento de doble fermentación alcohólica y acética, a partir de cebada malteada, con o sin

adición de grano, cuyo almidón se ha desdoblado en azúcares mediante la diastasa de la cebada malteada.

- Vinagre de malta destilado: es el producto obtenido mediante la destilación del vinagre de malta, a presión reducida, que sólo contiene los componentes volátiles del vinagre de malta del que se deriva.
- Vinagre balsámico: se obtiene por la adición de mosto de uva, mosto de uva concentrado o mosto de uva concentrado rectificado al vinagre de vino, dando lugar a un vinagre dulce, con un contenido mínimo de azúcar total de 150 g/L, procedente exclusivamente de los mostos indicados.
- Vinagre balsámico de sidra: se obtiene por adición de zumo concentrado de manzana al vinagre de sidra, dando lugar a un vinagre dulce con un contenido mínimo de azúcar total de 150 g/L, procedente exclusivamente del zumo concentrado de manzana.
- Otros vinagres: vinagres obtenidos a partir de productos de origen agrícola no contemplados anteriormente, por doble fermentación.

6.4. Servicios auxiliares

Además de las materias primas requeridas para poder llevar a cabo el proceso de producción de vinagre, se demandan otros servicios que son esenciales para el correcto funcionamiento de la planta.

Estos servicios, junto a sus especificaciones, se describen en los siguientes apartados.

6.4.1. Suministro eléctrico

Se necesita disponer de energía eléctrica para el funcionamiento de todas las unidades del proceso (sistemas de impulsión de fluidos, aireación y agitación, etc.) además del sistema de alumbrado de la planta.

6.4.2. Agua de refrigeración

El proceso de acetificación es un proceso exotérmico, por lo cual se necesitará de un sistema de refrigeración usando agua como refrigerante. El agua de refrigeración se obtendrá directamente de la red y se hará pasar a través de unos serpentines internos dispuestos dentro de los reactores donde se llevarán a cabo la fermentación acética. Posteriormente, para reutilizar esta agua, se hará pasar a través de una torre de refrigeración y devolverla nuevamente a los serpentines.

6.4.3. Agua de red

El agua de red se usará para la dilución de las melazas concentradas, para los procesos de filtrado y para los sistemas de refrigeración de los acetificadores.

El agua distribuida del término municipal de Jerez de la Frontera se capta y/o distribuye desde dos sistemas diferenciados: El Sistema Manantial de Tempul y el Sistema Zona Gaditana.

La ubicación de la planta se encuentra dentro del Polígono Industrial de El Portal. Dicho polígono se encuentra abastecido por el Sistema Zona Gaditana, que aporta en la actualidad el 91% de la demanda de abastecimiento del Término de Jerez de la Frontera. Este porcentaje supone asimismo aproximadamente el 24% del volumen total distribuido por la Zona Gaditana a los distintos municipios.

La red de la Zona Gaditana tiene influencia en el suministro a los distintos núcleos de Jerez y está compuesta por diversas conducciones y ramales que conectan con la red general de abastecimiento de Jerez ciudad, contando además con estaciones elevadoras y depósitos de regulación.

La red de distribución es de tipología mallada, posibilitando el suministro alternativo a las distintas calles o zonas ante incidencias por intervenciones programadas o averías.

CAPÍTULO 7: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

7.1. Introducción

El proceso que se llevará a cabo en el presente proyecto, de manera general, es el de la producción de un vinagre de 10° a partir de melazas de remolacha azucarera.

Dicho proceso consta de una doble fermentación; en primer lugar se llevará a cabo la fermentación alcohólica de una mezcla de agua y melazas para producir etanol. Éste será el sustrato de la siguiente etapa, la fermentación acética, donde finalmente se obtendrá vinagre de la graduación deseada.

El vinagre procedente de la etapa de fermentación se hará pasar a través de un sistema de filtración tangencial donde se retirarán los elementos no deseados en el producto final.

7.2. Almacenamiento de la materia prima

La materia prima fundamental seleccionada para llevar a cabo el proceso ha sido la melaza de remolacha azucarera.

Dicha melaza será suministrada por la Azucarera Ebro, situada en el Polígono Industrial de El Portal (Jerez de la Frontera) y será almacenada en un depósito atmosférico cilíndrico con techo cónico de acero inoxidable.

7.3. Acondicionamiento de la materia prima

Para llevar a cabo la etapa de la fermentación alcohólica es necesario que la materia prima se encuentre en las condiciones idóneas.

La melaza de remolacha suministrada posee una concentración en azúcares elevada (alrededor de un 50%), lo que dificulta el proceso de fermentación, ya que la

actividad del agua se ve reducida. Esto imposibilita el crecimiento de las levaduras en el medio, es por ello que la melaza será diluida con agua hasta rebajar el porcentaje de azúcares a un 24%.

El agua que se utilizará para la dilución de la melaza se hará pasar a través de un intercambiador iónico, consiguiendo así que ésta llegue desmineralizada y libre de cualquier elemento que pueda contaminar la mezcla.

La dilución de la melaza se llevará a cabo en otro depósito de almacenamiento de características similares al anterior descrito.

7.4. Concepto de Fermentación

El proceso de fermentación ha sido utilizado por el hombre desde hace más de ocho mil años, aun no conociéndose la existencia ni la influencia de los microorganismos en este proceso.

La palabra fermentación proviene del término en latín *fermentare*, que significa “ebullir”; se utilizó este término debido a la ebullición aparente que podía observarse durante la elaboración de vinos, ya que se producía dióxido de carbono, que se liberaba en forma de burbujas y provocaban el movimiento del líquido.

El concepto de fermentación ha ido variando a lo largo del tiempo, aunque prevalecen dos criterios para su definición:

- Concepto bioquímico.
- Concepto microbiológico.

Desde el punto de vista bioquímico, la fermentación se define como un proceso por el que una serie de sustancias orgánicas (sustrato) sufren unos cambios químicos (reacciones redox) que producen energía. Al terminar la fermentación aparecen varios productos, unos más oxidados y otros más reducidos que el sustrato, con un balance total de energía positivo. Dicha energía se usa en el proceso metabólico de los microorganismos implicados. En el concepto bioquímico, no se consideran como fermentaciones los procesos donde participa el oxígeno.

Desde el punto de vista microbiológico, se entiende por fermentación el proceso en el que los microorganismos implicados producen metabolitos o biomasa, a partir del uso de sustancias orgánicas, en ausencia o presencia de oxígeno.

7.5. Clasificación de los procesos fermentativos

Existe una gran cantidad de procesos y productos que involucra el término fermentación, por lo que muchas veces es difícil definirlo y realizar una clasificación. En general, los procesos fermentativos pueden dividirse en base a:

- El tipo de producto final que se obtiene en el proceso.
- La presencia o ausencia de oxígeno en el proceso.

Entre la cantidad de productos que pueden obtenerse en el proceso de fermentación, pueden mencionarse los siguientes:

- Células microbianas (biomasa).
- Metabolitos microbianos (enzimas, etanol, butanol, acetona, ácidos orgánicos, etcétera).

En la siguiente tabla se agrupan los productos más importantes obtenidos mediante fermentación:

Tipo de sustancia	Productos
Ácidos orgánicos	Acético, cítrico, fumárico, glucónico, itacónico, láctico
Aminoácidos	Lisina, metionina, triptófano, valina
Alcoholes y solventes	Acetona, butanol, 2,3-butanodiol, etanol, glicerol
Antibióticos	Bacitracina, estreptomina, neomicina, penicilina, tetraciclina
Esteroides	Cortisona, hidrocortisona, testosterona
Vitaminas	Ácido ascórbico, cianocobalamina, caroteno, riboflavina
Proteína unicelular (biomasa)	Células de hongos, levaduras, bacterias y algas
Otros	Alcaloides, enzimas, insecticidas biológicos, metano, polisacáridos

Fuente: "Microbiología Industrial". Alicia Hernández. 2003.

Las fermentaciones pueden clasificarse también atendiendo a la presencia o ausencia de oxígeno en el proceso. De acuerdo con esta clasificación, se encuentran los siguientes tipos:

- Fermentación aerobia (presencia de oxígeno).
- Fermentación anaerobia (ausencia de oxígeno).

7.6. Curva de crecimiento de un microorganismo

En la siguiente gráfica se representa el comportamiento del crecimiento de un microorganismo con el paso del tiempo:

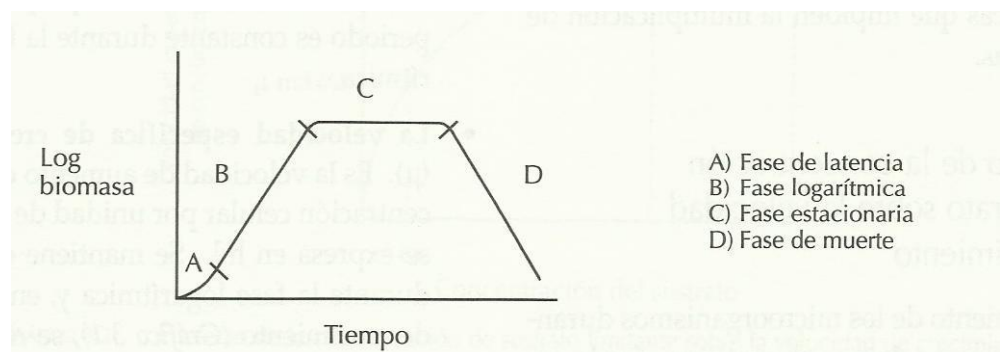


Figura 7.6.1: Curva de crecimiento de un microorganismo.

A través de ella puede conocerse cuando se produce la mayor cantidad de biomasa o de metabolitos.

Esta curva cuenta con distintos tramos, dependiendo en qué situación de crecimiento se encuentre el microorganismo:

- A) Fase de latencia: es el periodo donde el microorganismo comienza a adaptarse a las nuevas condiciones nutricionales y ambientales. Se da justo después de la inoculación y la duración de esta fase depende del estado fisiológico de la célula. En esta etapa no existe un aumento del número de células.
- B) Fase logarítmica: en esta fase, las células crecen a velocidad máxima y esta permanece constante, no dependiendo de la concentración de sustrato, siempre y cuando esta sustancia se encuentre en exceso.

- C) Fase estacionaria: la velocidad de crecimiento del microorganismo se iguala a la velocidad de muerte alcanzándose un equilibrio celular. La importancia de esta etapa varía con el tipo de fermentación que se quiera llevar a cabo, por ejemplo, en el caso de la fermentación alcohólica se quiere obtener etanol. No es necesario ni rentable continuar el proceso cuando se alcanza esta etapa, ya que cuando se alcanza la máxima concentración de las células, la producción de etanol disminuye.
- D) Fase de muerte: los microorganismos necesitan nutrientes para seguir reproduciéndose, pero estos ya no son suficientes. La fase de muerte se da también cuando aparecen sustancias tóxicas que inhiben la multiplicación de las células.

7.7. Efecto de la concentración de sustrato sobre la velocidad de crecimiento: Ecuación de Monod

El crecimiento de los microorganismos durante un proceso fermentativo fue estudiado y cuantificado por Jacques Monod en el año 1950, él fue quien estudió el efecto de la concentración del sustrato sobre la velocidad de crecimiento de estos.

Sus estudios se componen de cálculos matemáticos complejos, donde destacan una serie de términos:

- Velocidad de crecimiento del microorganismo (dX/dt): es el aumento de la cantidad de microorganismos por unidad de tiempo.
- El sustrato limitante (S): es el sustrato, que debido a su concentración, hará que se restrinja el crecimiento de los microorganismos.
- El tiempo de duplicación (t_d): es el tiempo que se necesita para que las células se dupliquen.
- Velocidad específica de crecimiento (μ): es la velocidad a la que se aumenta la concentración de las células por unidad de tiempo.

- Velocidad específica de crecimiento máxima (μ_{\max}): es la velocidad máxima de multiplicación a la que puede llegar el microorganismo, en las condiciones a las que crece.
- Constante específica de cada sustrato (K_s): representa la afinidad de los microorganismos por el sustrato. Si el microorganismo tiene gran afinidad por el sustrato limitante, K_s adoptará un valor bajo.

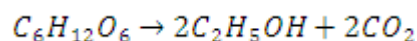
Nace así la ecuación de Monod, que describe la relación entre la velocidad específica de crecimiento (μ) y la concentración del sustrato limitante (S):

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_s + S}$$

Esta ecuación puede presentar variaciones en el caso de que existan efectos inhibitorios.

7.8. Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica es una bioreacción que permite degradar azúcares en alcohol y dióxido de carbono. La conversión se representa mediante la siguiente fórmula:

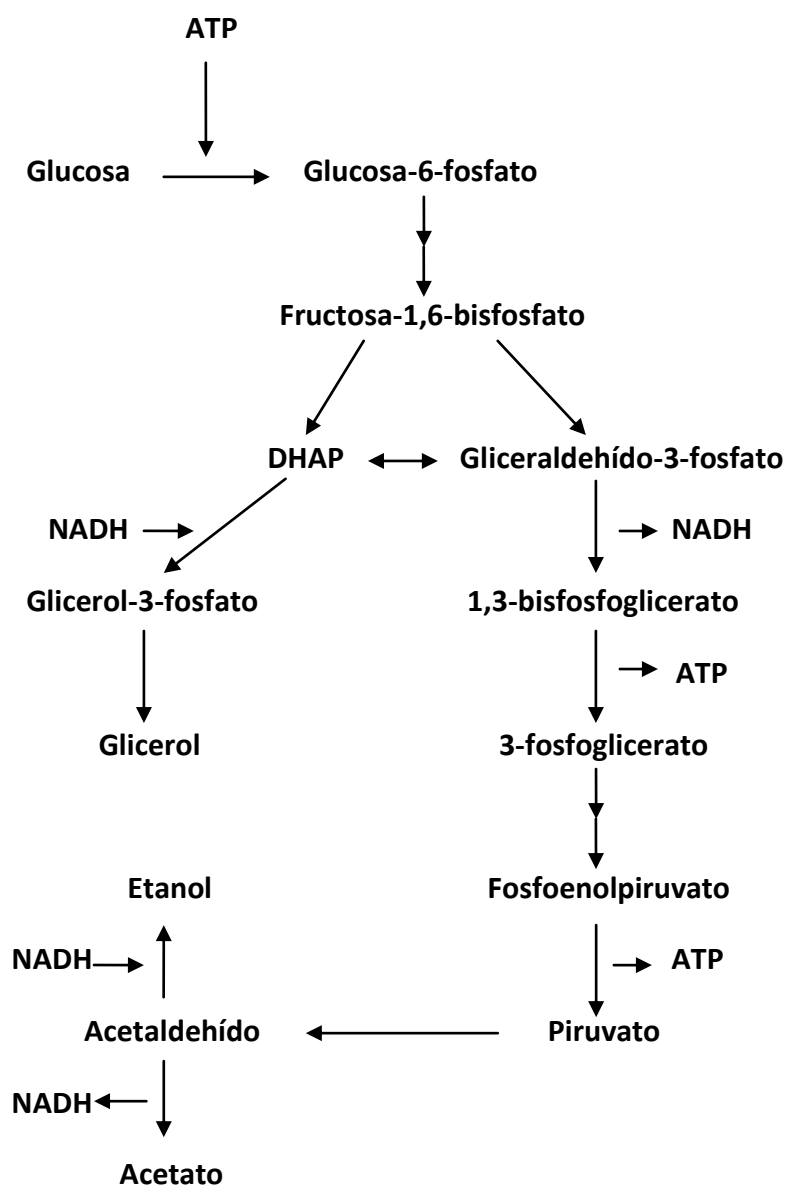
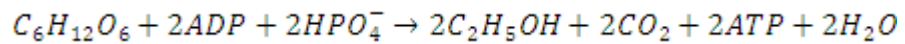


Las principales responsables de esta transformación son las levaduras. La *Saccharomyces cerevisiae*, es la especie de levadura más usada en la industria. Existen estudios relacionados con la producción de etanol usando otros hongos y bacterias, como la *Zymomonas mobilis*, pero la explotación a nivel industrial es mínima.

Estequiométricamente parece una transformación simple, pero la secuencia de transformaciones para degradar la glucosa hasta dos moléculas de alcohol y dos moléculas de dióxido de carbono es un proceso altamente complejo, pues al mismo tiempo la levadura utiliza la glucosa y los nutrientes adicionales para reproducirse.

Las fuentes de carbono, fundamentalmente las hexosas glucosa y fructosa, permiten a las células de levadura obtener energía mediante la fermentación alcohólica.

Esta ruta metabólica tiene lugar en el citoplasma y puede expresarse mediante la siguiente ecuación global simplificada:



Esquema de la conversión de glucosa en etanol durante la fermentación alcohólica por la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

La fermentación alcohólica sigue la ruta de Embden-Meyerhof-Parnas, descrita hacia 1940 por estos investigadores y conocida también como glucólisis. Esta ruta consiste en 10 reacciones.

Las cinco primeras reacciones constituyen la fase de inversión de energía, donde los azúcares se activan metabólicamente por fosforilación dependiente de ATP para dar lugar a un azúcar de seis carbonos, la fructosa-1,6-bisfosfato, que sufre una escisión para proporcionar dos moles de triosa fosfato.

Durante la fase de generación de energía (reacciones 6 a 10), las triosas fosfato sufren una nueva activación que conduce a dos compuestos con un alto potencial de transferencia de fosfato, primero el 1,3-bisfosfoglicerato y luego el fosfoenolpiruvato. Cada uno de estos compuestos transfiere su fosfato de alta energía al ADP, proporcionando así un ATP, en un proceso conocido como fosforilación a nivel de sustrato. La energía química del ATP puede transformarse posteriormente en la célula en otras formas de energía necesarias para el crecimiento de la misma, mediante los denominados procesos de transducción de energía.

Es importante destacar que la primera reacción de esta fase de generación de energía es una reacción de oxidación, catalizada por el enzima gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa. Este enzima requiere dinucleótido de nicotinamida-adenina (NAD⁺) como coenzima, para aceptar los electrones del sustrato que se está oxidando. Como consecuencia de ello, este coenzima se reducirá a NADH.

Tras la ruta glucolítica la fermentación alcohólica concluye con dos reacciones adicionales. En la primera el piruvato resultante es descarboxilado a acetaldehído y dióxido de carbono, mediante el enzima piruvato descarboxilasa, que requiere la presencia como coenzima de pirofosfato de tiamina.

Finalmente, el acetaldehído es reducido a etanol por el enzima alcohol deshidrogenasa, en una reacción que implica la oxidación del NADH a NAD⁺, lo que permite poder recuperar el potencial de oxidación consumido en la etapa anterior.

Es fundamental destacar que la ruta glucolítica no es únicamente un proceso conducente a la obtención de energía para la levadura. Constituye además una ruta

que proporciona a las levaduras metabolitos que pueden usarse como puntos de partida para la biosíntesis de moléculas asociadas al aumento de biomasa.

7.8.1. Microorganismo seleccionado y método de cultivo

El microorganismo seleccionado ha sido la levadura *Saccharomyces cerevisiae* debido a que es la levadura más utilizada en los procesos fermentativos industriales para la obtención de etanol.

7.8.1.1. Características

Saccharomyces cerevisiae es un tipo de levadura que se utiliza comúnmente en la industria para fabricar pan, cerveza y vino, ya que tiene la capacidad de producir dióxido de carbono y etanol durante el proceso fermentativo.

La reproducción de estas levaduras es mediante gemación. La gemación consiste en la formación de un abultamiento (yema) sobre un individuo progenitor, originando nuevos seres que se separan del organismo parental, o también pueden quedarse unidos a él, formando una colonia. Se trata de un proceso de mitosis.

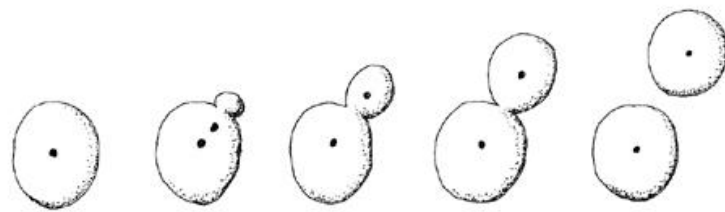


Figura 7.8.1.1.a. Proceso de gemación en *Saccharomyces cerevisiae*

Dicho microorganismo presenta unas necesidades nutricionales para su correcto desarrollo, además, su crecimiento también se verá afectado por las condiciones del medio donde se encuentra (humedad, pH, temperatura, presencia de sustancias antimicrobianas).

➤ Necesidades nutricionales:

El medio de cultivo aportará todos los elementos necesarios para la síntesis celular así como para cubrir las necesidades energéticas de *Saccharomyces cerevisiae*, por lo que deberá aportar el conjunto de los siguientes elementos:

- Carbono: utilizado por las levaduras como fuente de energía y carbono. Como fuente de carbono, los glúcidos son los más frecuentemente utilizados.
- Nitrógeno: se trata del segundo constituyente aportado por el medio de cultivo. Se utilizan los aminoácidos como fuente de nitrógeno.
- Fósforo: se halla incluido en los ácidos nucleicos y los nucleósidos di y tri fosfato. La concentración en iones fosfato regula la síntesis de los lípidos y los glúcidos.
- Azufre: el 60% del azufre se encuentra incorporado en las proteínas, también se encuentra presente en algunas vitaminas.
- Potasio: tiene papeles fisiológicos importantes como por ejemplo estimular la fermentación y la respiración a pH ácido.
- Magnesio: es necesario para el buen funcionamiento de las enzimas del metabolismo, actuando como activador de las enzimas glucolíticas y estimulando la síntesis de ácidos grasos.
- Calcio: no es indispensable en el crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* pero tiene un papel importante como estimulador. Se utiliza en la fase de crecimiento y se adhiere a la pared celular y se incorpora en las membranas citoplasmáticas. Favorece el mantenimiento de la integridad celular en entornos hostiles.
- Zinc: juega un papel esencial en el metabolismo de la célula, siendo necesario en la síntesis de vitaminas como la riboflavina y estimulando la acción del magnesio.
- Manganeso: al adicionar manganeso se obtiene un aumento del nivel de nitrógeno, de la síntesis de las proteínas y de rendimiento celular.

- Otros iones: hierro, bario, cloruro, sodio.

➤ Condiciones del medio:

- *Temperatura*

La temperatura normal de cultivo se sitúa entre 25 y 30°C, que permite el crecimiento de la mayor parte de las levaduras.

Aunque lo normal es que la temperatura se encuentre dentro de este intervalo, no son rigurosamente las temperaturas óptimas de crecimiento. Las levaduras pueden clasificarse en:

- Levaduras psicrófilas: su temperatura máxima de crecimiento se sitúa en torno a los 20°C o incluso menos, y su temperatura mínima se encuentra en los 5°C.
- Levaduras termófilas: su temperatura mínima de crecimiento es de 20°C, siendo la temperatura máxima de su desarrollo hacia 48-50°C.
Normalmente, este tipo de levaduras viven en el aparato digestivo de los animales.
- Levaduras mesófilas: pueden desarrollarse entre 0 y 48°C.

De todas formas, hay que tener en cuenta que las levaduras no son termorresistentes, la termodestrucción comienza desde los 52°C.

De igual manera, las levaduras resisten bastante mal la congelación, sin embargo puede utilizarse la liofilización para conservar las levaduras, cuidando la temperatura, la velocidad de congelación, la composición del medio, etc. La liofilización consiste en congelar, en este caso la levadura, para posteriormente introducirla en una cámara de vacío para realizar la separación del agua por sublimación.

- *Presión osmótica y actividad del agua*

Si el valor de la actividad del agua (A_w) en el medio es inferior a 0,99 la velocidad de crecimiento disminuye para finalmente tender a 0. La mayor parte de las cepas no pueden desarrollarse en actividades del agua inferiores a 0,90, aunque algunas de ellas toleran altas presiones osmóticas, correspondientes a una actividad del agua de 0,60, pero como consecuencia de esto se da un metabolismo muy lento. A este tipo de levaduras se les conoce como xerotolerantes.

- *Oxígeno*

Todas las levaduras pueden crecer en presencia de oxígeno, no existe ninguna que sea estrictamente anaeróbica.

Las levaduras del género *Saccharomyces* se consideran levaduras aero-anaerobias facultativas y prefieren un metabolismo fermentativo incluso en presencia de oxígeno.

Existen otras levaduras aero-anaerobias que prefieren un metabolismo respiratorio si hay oxígeno, como son: *Candida*, *Pichia*, *Hansenula*, *Torulopsis*, *Kluyveromyces*.

- *pH*

La envoltura de la célula es impermeable a los iones H^+ y OH^- . Las levaduras pueden tolerar rangos de pH muy amplios, teóricamente de 2,4 a 8,6.

La sensibilidad de una levadura a un ácido orgánico depende del pH y de la capacidad de la levadura de poder metabolizar o eliminar el ácido en el caso de que penetra en la célula.

Se mostraron en diversos estudios que *Saccharomyces cerevisiae*, en presencia de 50-100 $\mu g/ml$ de ácido sórbico ($pH=4$) detiene su crecimiento pero continúa respirando y fermentando los azúcares (Reinhart y Radler, 1981, a través de Microbiología Industrial: Los Microorganismos de Interés Industrial, J.Y. Leveau, M. Bouix).

7.8.1.2. Diseño del medio de cultivo

El mejor medio de cultivo para producir etanol mediante fermentación alcohólica es el medio rico en azúcares, ya que las levaduras encargadas del proceso fermentativo se alimentan de ellos para secretar al medio etanol, que es el compuesto de interés en este caso.

El medio de cultivo elegido en el presente proyecto es un subproducto de la industria azucarera, la melaza de remolacha.

Este medio de cultivo es rico en azúcares, alrededor del 50% como se ha visto en el capítulo anterior.

Además de ser rico en azúcares, también lo es en nutrientes, por lo que no será necesaria una adición extra de estos al medio para que el microorganismo crezca en las condiciones óptimas.

La melaza de remolacha por sí misma no es un medio fermentable, debido a que la actividad del agua se ve reducida y la concentración en azúcares es elevada, estos factores imposibilitan el crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae*. Es por eso que se adiciona agua procedente de la red, consiguiendo disminuir su viscosidad y también su porcentaje en azúcares hasta un 24%.

El pH de las melazas se encuentra entre 6 y 7 y el pH óptimo de las levaduras se encuentra entre 4 y 5. Habrá que adicionar ácido sulfúrico para ajustar el pH al deseado. Se utiliza este tipo de ácido debido a que permite usar menores cantidades para bajar el pH además de que es de los más baratos, por lo que el coste de este procedimiento se vería reducido (Lixis Rojas-Sariol, 2011).

Estas melazas diluidas pueden presentar en su seno una serie de bacterias, hongos o levaduras debido a la adición del agua de red, es por eso que deben eliminarse para evitar su proliferación en el proceso fermentativo. Se realizará una limpieza química que consiste en un proceso de sulfatado, eliminando así cualquier tipo de levadura o bacteria indeseable en el proceso. De esta manera se favorece la posterior implantación de la cepa elegida para tal proceso.

7.8.2. Selección del modo de operación y modelo matemático utilizado

7.8.2.1. Modo de operación

El proceso de fermentación puede llevarse a cabo mediante dos métodos o sistemas de operación distintos:

- En lote (Batch).
- En continuo.

Ambos sistemas tienen gran importancia a escala industrial y cada uno presenta ventajas, aunque también ciertos inconvenientes.

- Cultivo en lote (Batch):

Se trata de un sistema cerrado, ya que al haber iniciado el proceso fermentativo (habiendo ya mezclado los nutrientes y el microorganismo), solo se adiciona oxígeno, antiespumantes y ácidos o bases para controlar el pH.

La fermentación se lleva a cabo en un tiempo determinado, durante el cual varía la composición del medio, la concentración de biomasa, etc. Acto seguido se interrumpe el proceso y se obtiene el producto.

Para que este tipo de fermentación resulte exitosa, debe conocerse la curva de crecimiento del microorganismo, ya que al conocer su comportamiento, pueden manipularse las condiciones de manera que se obtenga el producto deseado. En este caso, habrá que buscar las condiciones que generen una mayor producción de etanol.

- Cultivo en continuo:

Se trata de un sistema abierto, y difiere del cultivo en lote en que se adiciona continuamente el medio de cultivo a los microorganismos, llevándose a cabo a una determinada velocidad, que será la misma a la que se extrae el caldo de cultivo.

De este modo se consigue mantener, en el fermentador, una población estable de microorganismos.

Para que este proceso sea efectivo se necesita que se encuentre en estado estacionario, es decir, varios factores deberán mantenerse constantes a lo largo del tiempo, como el volumen del cultivo, la concentración celular y de metabolitos, y las condiciones físicoquímicas necesarias para que se desarrolle el proceso adecuadamente.

➤ **Ventajas e inconvenientes del cultivo en continuo con respecto al cultivo en lote (Alicia Hernández, 2003):**

▪ **Ventajas**

- Puede controlarse la velocidad específica de crecimiento del microorganismo.
- Puede estudiarse el efecto de algún parámetro sobre la actividad metabólica del microorganismo.
- El crecimiento del microorganismo se puede realizar en las condiciones óptimas.
- Se elimina la fase de latencia, por lo que se reduce el tiempo real de producción del compuesto de interés.

▪ **Inconvenientes**

- Es difícil mantener las condiciones estériles en el fermentador por periodos prolongados.
- A veces, aparecen mutaciones en la cepa original y, entonces, el mutante puede crecer más rápido que la cepa de la cual procede.
- Cualquier fallo en el equipo, aun siendo momentánea, desestabilizará el proceso y echará a perder la elaboración del compuesto de interés.

En el presente proyecto se ha elegido operar en lote (Batch), debido a los inconvenientes que presenta el trabajar en continuo. Una vez realizada la limpieza química de los fermentadores con una solución de hipoclorito sódico, se pretende

mantener las condiciones estériles, algo que difícilmente puede ofrecer el operar en continuo. Además, no se correrán riesgos de perder la producción de etanol a causa de un fallo momentáneo.

7.8.2.2. Modelo matemático: Cinética de Hinshelwood

Experimentalmente, los procesos fermentativos no se ajustan bien a la ecuación básica de Monod, ya que surgen efectos inhibitorios sobre el crecimiento de los microorganismos encargados de la fermentación, ya sea por la cantidad de sustrato, por exceso de oxígeno y por la concentración en el medio del producto formado.

Es por eso que distintos científicos han estudiado durante años estos efectos inhibitorios y, mediante sus investigaciones, han elaborado una serie de modelos compuestos por distintas ecuaciones que pueden ajustarse al comportamiento de un medio donde se están produciendo efectos de inhibición.

Uno de los modelos más utilizados y mejor adaptados al comportamiento de la fermentación alcohólica llevada a cabo en un proceso batch, utilizando como microorganismo el que se describe en el presente proyecto (*Saccharomyces cerevisiae*) es el propuesto por el químico inglés Cyril Norman Hinshelwood.

Dicho modelo tiene en cuenta los efectos inhibitorios producidos por la cantidad de sustrato en el medio y por el producto formado. No se tiene en cuenta la inhibición por oxígeno ya que se opera de manera anaerobia.

A continuación se presentan las ecuaciones diferenciales que componen el modelo propuesto por Hinshelwood:

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \left(\frac{S}{K_{sx} + S} \right) (1 - K_{px}P)X$$

$$\frac{dP}{dt} = q_{m\acute{a}x} \left(\frac{S}{K_{sp} + S} \right) (1 - K_{pp}P)X$$

$$\frac{dS}{dt} = - \left(\frac{1}{Y_{x/s}} \frac{dX}{dt} \right) - \left(\frac{1}{Y_{p/s}} \frac{dP}{dt} \right)$$

Donde:

- dX/dt : velocidad de crecimiento del microorganismo.
- dP/dt : velocidad de producción del compuesto de interés.
- dS/dt : velocidad de consumo del sustrato.
- S : concentración del sustrato.
- P : concentración del producto.
- X : concentración de biomasa viable.
- $\mu_{m\acute{a}x}$: velocidad específica de crecimiento máxima del microorganismo.
- $q_{m\acute{a}x}$: producción específica máxima del producto de interés.
- K_{sx} y K_{sp} : constantes de inhibición para el sustrato.
- K_{px} y K_{pp} : constantes de inhibición para el producto.
- $Y_{x/s}$: rendimiento biomasa/sustrato.
- $Y_{p/s}$: rendimiento producto/sustrato.

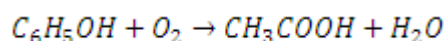
Los parámetros cinéticos se han tomado de la bibliografía, donde se considera una concentración en azúcares de 200 g/L, utilizándose el mismo tipo de microorganismo. En el presente proyecto se utiliza una concentración de sacarosa de 240 g/L, por lo que los valores de estos parámetros pueden aproximarse, debido a que no varían de manera significativa con respecto a otras concentraciones.

Igualmente, se han tomado como parámetros de ajuste las constantes de inhibición para el producto (K_{px} y K_{pp}). De esta manera se obtiene una concentración de etanol de 83 g/L en 140 horas.

El modelado se ha llevado a cabo mediante la herramienta de software matemático MATLAB y se describirá con detalle posteriormente en el ANEXO VIII de la presente Memoria.

7.9. Fermentación acética

En la fermentación acética, se lleva a cabo la transformación del etanol, producido en la etapa anterior, en ácido acético. Este tipo de fermentación se lleva a cabo en presencia de oxígeno, ya que el tipo de microorganismo presente en el medio trabaja de forma aerobia. La reacción que se lleva a cabo en este tipo de proceso es la siguiente:



Esta fermentación puede llevarse a cabo mediante diversas bacterias y otros microorganismos que tengan la capacidad de generar ácido acético, a partir de varios sustratos que contengan etanol, sin embargo, a escala industrial, se hace uso habitualmente de las bacterias del género *Acetobacter*, conocidas también como bacterias acéticas, por la alta capacidad de producción de este metabolito.

7.9.1. Microorganismo seleccionado y método de cultivo

En este tipo de fermentación actúan varias especies de bacterias acéticas, pero las que se han detectado en una mayor proporción son *Acetobacter aceti*, *Acetobacter rancens* y *Acetobacter oxydans*.

La bacteria seleccionada habitualmente en este tipo de proceso y que se utilizará para producir vinagre en el proceso diseñado en el presente proyecto será *Acetobacter aceti*.

7.9.1.1. Características

Las características más importantes para establecer una selección de las especies de *Acetobacter* que pueden ser aptas para producir ácido acético son:

- Tolerancia a altas concentraciones de producto (ácido acético).
- Baja demanda de nutrientes.
- Incapacidad de metabolizar el ácido acético, para así evitar que se produzca la sobreoxidación de este, que genera la producción de agua y dióxido de carbono.

➤ Condiciones del medio:

La temperatura óptima de crecimiento de las bacterias acéticas es de 30°C aunque pueden desarrollarse entre los 5 y los 42°C y el rango de pH en el que trabajan se encuentra entre 5,4 y 6,3 en la mayoría de los casos.

7.9.1.2. Diseño del medio de cultivo

El medio donde van a desarrollarse las bacterias es en una solución alcohólica, ideal para este tipo de bacterias, ya que su sustrato principal va a ser el etanol producido en la etapa de fermentación de la melaza. La concentración a la que se encuentra el etanol es de 83 g/L.

Este tipo de bacterias requiere una baja demanda de nutrientes para poder llevar a cabo el proceso por lo que no será fundamental la adición de estos al medio. No obstante, si en algún momento fuese necesario incluir nutrientes, se adicionará la cantidad necesaria de estos mediante la incorporación de un volumen determinado de melazas.

La fermentación puede iniciarse inoculando cierta cantidad de bacterias acéticas, o bien, cubriendo el recipiente que contiene el etanol con una tela de gasa, de manera que se dificulte la entrada de insectos, pero que permita la entrada de aire y de las bacterias presentes en el mismo.

Otra manera que se utiliza habitualmente es mediante la adición de un volumen de vinagre sin pasteurizar: el vinagre es el inóculo, ya que contiene las bacterias acéticas que iniciarán el proceso. Esta manera de operar, tiene la ventaja de que, al acidificarse el medio, se evita el desarrollo de microorganismos indeseables en

el proceso que compiten con las bacterias acéticas por el sustrato, alterando así la composición del producto.

Debe tenerse en cuenta que cuando la concentración de etanol en el medio disminuya a 0,3 % v/v, debe detenerse el proceso, ya que al no haber prácticamente etanol en el medio fermentativo, las cepas sobreoxidativas de *Acetobacter aceti* pueden oxidar el ácido acético a dióxido de carbono y agua.

Si se llega a este porcentaje de etanol en el medio y se desea continuar con el proceso, debe retirarse del fermentador un determinado volumen de vinagre ya producido y deberá alimentarse de nuevo con la solución alcohólica proveniente de la etapa anterior, en la misma proporción del volumen extraído.

7.9.2. Selección del modo de operación y modelo matemático utilizado

7.9.2.1. Modo de operación

El proceso de fermentación puede llevarse a cabo mediante dos métodos o sistemas de operación distintos, como se ha visto en apartados anteriores de este capítulo, referentes al proceso de fermentación alcohólica:

- En lote (Batch).
- En continuo.

En el presente proyecto se ha elegido operar en lote (Batch) al igual que ocurre con la fermentación alcohólica, debido a los inconvenientes que presenta el trabajar en continuo. Una vez realizada la limpieza química de los fermentadores con una solución de hipoclorito sódico, se pretende mantener las condiciones estériles, algo que difícilmente puede ofrecer el operar en continuo. Además, no se correrán riesgos de perder la producción de vinagre a causa de un fallo momentáneo.

7.9.2.2. Modelo matemático: Cinética de Monod: inhibición por sustrato, producto y oxígeno

El modelo matemático que al que va a ajustarse la cinética del proceso viene dado por una serie de ecuaciones que tienen en cuenta los efectos inhibitorios del

sustrato (etanol), del producto (ácido acético) y del oxígeno presente en el medio fermentativo. Dicho modelo matemático ha sido propuesto por los profesores Domingo Cantero, Ildefonso Caro, Luis Enrique Romero y José Manuel Gómez, pertenecientes a la Universidad de Cádiz, (D. Cantero, I. Caro, L.E. Romero, J.M. Gómez, 1993):

$$\mu_g = \mu_{\max} \left(\frac{S}{S + K_{ss} + \left(\frac{S}{K_{is}^2} \right)} \right) \frac{\left(1 + \frac{P}{K_{sp}} \right)}{\left(1 + \left(\frac{P}{K_{ip}} \right)^3 \right)} \frac{\left(\frac{O}{K_{so}} \right)}{\left(1 + \left(\frac{O}{K_{io}} \right)^3 \right)}$$

$$\mu_d = \frac{K_m P^4}{S^3 + K_n}$$

$$\mu = \mu_g - \mu_d$$

$$\frac{dX_v}{dt} = \mu X_v$$

$$\frac{dX_d}{dt} = \mu_d X_v$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\mu_g X_v}{Y_{s/p}}$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{(-\mu_g X_v)}{Y_{x/s}}$$

$$\frac{dO}{dt} = K_{la} (ODOT - O) - \left(\frac{\mu_g X_v}{Y_{x/o}} \right)$$

Donde:

- dX/dt : velocidad de crecimiento del microorganismo.
- dP/dt : velocidad de producción del compuesto de interés.

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

- dS/dt : velocidad de consumo del sustrato.
- dO/dt : velocidad de consumo del oxígeno.
- S : concentración del sustrato.
- P : concentración del producto.
- O : concentración de oxígeno disuelto.
- $ODOT$: concentración de oxígeno en el equilibrio.
- X_v : concentración de biomasa viable.
- X_d : concentración de biomasa muerta o no viable.
- $\mu_{\text{máx}}$: velocidad específica de crecimiento máxima del microorganismo.
- μ_g : velocidad específica de crecimiento .
- μ_d : velocidad específica de muerte global.
- $Y_{x/o}$ y $Y_{x/s}$: Factor de rendimiento.
- K_{ss} , K_{sp} , K_{so} : constantes de inhibición para el sustrato.
- $Y_{x/s}$: rendimiento biomasa/sustrato.
- $Y_{p/s}$: rendimiento producto/sustrato.
- K_{La} : Coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno.
- K_n y K_m : parámetros cinéticos de muerte.

El modelado se ha llevado a cabo mediante la herramienta de software matemático MATLAB y se describirá con detalle posteriormente en el ANEXO VIII de la presente Memoria.

7.10. Instrumentación y control

En la planta de producción de vinagre diseñada en el presente proyecto se instalará un sistema de control en las unidades principales de la misma, de manera que se asegure que los valores de operación (temperatura, nivel, composición, etc.) se encuentran entre los establecidos.

7.10.1. Sistema de control para los tanques de almacenamiento y los tanques pulmón

Será necesario controlar el nivel de líquido en los tanques para que estos no sobrepasen el nivel máximo. No es necesario un lazo de control, ya que será el operario de la planta el que se encargue de dar la orden de descarga en los tanques.

Debido a esto, se instalará un instrumento de medida que otorgue una indicación visual del nivel del tanque, un tubo de nivel.

7.10.2. Sistema de control para los fermentadores

En los fermentadores se realizará el proceso principal de la planta diseñada, es por eso que debe tenerse especial control sobre ellos, instalando la mayor parte de los sensores.

Deben controlarse por tanto:

- La temperatura
- El nivel de líquido dentro del fermentador
- La cantidad de oxígeno disuelto
- La acidez

7.10.2.1. Control de temperatura

La temperatura es una variable importante a controlar en la fermentación acética, ya que la temperatura óptima a la que se desarrollarán los microorganismos es de 30°C, por lo que debe mantenerse el caldo de fermentación a esa temperatura.

Se instalará un lazo de control simple, de esta manera se regulará el caudal de agua refrigerante que recorre el interior del serpentín actuando sobre una válvula de control.

Por tanto, la variable a controlar será la temperatura en el interior del fermentador y la variable a manipular será el caudal de entrada del agua refrigerante

por el interior del serpentín. También existirá una variable de perturbación, que corresponderá a la temperatura de entrada del agua refrigerante ($25^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Ver Anexo VI). Esta temperatura debe mantenerse durante todo el proceso a la entrada en el serpentín, para ello se instalará una torre de refrigeración que permite reutilizar el agua refrigerante que sale del serpentín a 28°C y volverla a enfriar hasta 25°C .

El lazo de control descrito constará de los siguientes instrumentos:

- Sensor de temperatura digital, marca Kobold modelo DTM u otro similar. El rango de trabajo oscila entre los -30°C y los 50°C . Está controlado por un microprocesador y está construido en acero inoxidable. Se aconseja su uso especialmente en la industria química, farmacéutica y alimentaria.
- Controlador de temperatura, de Cole-Parmer, modelo EW-98609-60 u otro similar. El rango de trabajo oscila entre los -10°C y los 60°C .
- Electroválvula ON/OFF, de Cole-Parmer, modelo EW-98165-10 u otra similar. Está fabricada en acero inoxidable.

7.10.2.2. Control de nivel

Una vez alcanzados los 8° alcohólicos y los 10° acéticos en cada tipo de fermentador, deberá descargarse el 50% del volumen útil.

Una vez desalojado el 50%, se pondrá en marcha el caudal de entrada de melazas diluidas (para el fermentador alcohólico) y el caudal de entrada de etanol (para el fermentador acético), y una vez se alcance el nivel máximo fijado de líquido se detendrá.

Como en el caso anterior, también será de lazo simple y constará de los siguientes instrumentos:

- Sensor de nivel, de la marca Kobold, modelo NBK-R u otro similar, que permite trabajar a más de 6 metros de altura y posee una salida analógica de 4-20 mA.
- Controlador de nivel del líquido, de Cole-Parmer, modelo LC40 u otro similar. Consta de un interruptor y una alarma, también de una pantalla LED que indica los valores medidos.
- Electroválvula ON/OFF, de Cole-Parmer, modelo EW-98165-10 u otra

similar. Consta de dos vías, especialmente indicada para tratar con fluidos corrosivos.

- Electroválvula ON/OFF, de Cole-Parmer, modelo A-01348-12 de tres vías. Esta válvula será la encargada de controlar la entrada de melazas o etanol a cada tipo de fermentador, según el controlador de nivel que actúe en cada momento.

7.10.2.3. Control de oxígeno disuelto

El valor de la concentración de oxígeno disuelto en el caldo de fermentación (fermentación acética) debe ser de 1 ppm aproximadamente, por lo que debe mantenerse esta concentración en todo momento.

El lazo de control simple instalado en este caso está compuesto por los siguientes instrumentos:

- Sensor de oxígeno disuelto, de Cole-Parmer, modelo P-05726-26 u otro similar, con compensación de temperatura y 420 mm de inmersión. Posee un diámetro de 19 mm.
- Controlador de oxígeno, de Cole-Parmer, modelo EW-53405-00 DO 2000 Controller u otro similar. El rango de operación está entre 0 y 20 ppm. Como ocurre con el sensor, también tiene compensación automática de temperatura y alarma.
- Electroválvula ON/OFF, de Cole-Parmer, modelo EW-98615-10 u otra similar.

7.10.2.4. Control de acidez

En la fermentación acética, el etanol proveniente de la etapa anterior (fermentación alcohólica) se transforma en ácido acético.

Deberá imponerse un punto de consigna que corresponda a los 10° acéticos, que es la acidez que se pretende conseguir en el presente proyecto. Se instalará un lazo de control simple que contendrá:

- Sensor de acidez, de Metrohm, modelo 842 Titrand u otro similar. Recogerá muestras automáticamente cada cierto tiempo y las analizará hasta llegar a 10° acéticos.
- Controlador de acidez, de Cole-Parmer, modelo EW-33120-24. Este

controlador puede soportar hasta los 60°C.

- Electroválvula, de Cole-Parmer, modelo EW-98165-10 u otro similar, de dos vías para tratar con fluidos corrosivos.
- Electroválvula ON/OFF, de Cole-Parmer, modelo A-01348-12 u otra similar de tres vías. Será la encargada de controlar la salida de vinagre de los fermentadores hacia el filtro tangencial, según el control de acidez que mande la señal.

CAPÍTULO 8: TANQUES DE ALMACENAMIENTO

8.1. Introducción

La planta cuenta con seis tanques de almacenamiento, tanto de materia prima como de producto intermedio y final, ya que en el proceso se lleva a cabo una doble fermentación. Los depósitos mencionados anteriormente que van a instalarse en la planta diseñada en el presente proyecto son:

- Tanque de almacenamiento de melaza concentrada.
- Tanque de almacenamiento de melaza diluida.
- Tanque pulmón 1 (etanol).
- Tanque de almacenamiento de etanol.
- Tanque pulmón 2 (vinagre).
- Tanque de almacenamiento de vinagre.

El diseño mecánico de dichos tanques se rige bajo la normativa API 650 (American Petroleum Institute) y los cálculos realizados en dicho diseño se recogerán con detalle en el Anexo II del presente proyecto.

Los tanques de almacenamiento de melaza concentrada y melaza diluida irán contruidos en acero al carbono SA-285, debido a que las melazas no presentan un carácter corrosivo y dicho material ofrece una alta resistencia.

Los demás tanques de almacenamiento se construirán en acero inoxidable 316L debido a que las sustancias que se encuentran en su interior presentan carácter corrosivo y este material es el ideal para almacenar estos compuestos (etanol y vinagre).

8.2. Diseño

8.2.1. Tanque de almacenamiento de melaza concentrada

Las melazas suministradas por el proveedor serán almacenadas en tanques para evitar pérdidas de tiempo de ciclo y aprovechar las situaciones del mercado. Para este tipo de depósito se elegirá un techo cónico, ya que las melazas no van a producir gases en su interior ni van a generar una sobrepresión debido a estos, consiguiendo por tanto, una mejora económica en relación a los tanques de almacenamiento de techo flotante.

Este depósito tiene una capacidad total de 90 metros cúbicos. Está constituido por un cuerpo cilíndrico de 6,4 metros de altura y con un diámetro de 4,24 metros.

8.2.2. Tanque de almacenamiento de melaza diluida

Como se ha comentado con anterioridad en el Capítulo 6 de la presente Memoria Descriptiva, la melaza concentrada por sí misma no es un medio fermentable, por lo que es necesario que esta se diluya con agua para obtener una concentración en azúcares que permita que la fermentación sea llevada a cabo. Es por esto que este tanque de almacenamiento albergará capacidad para contener cierta cantidad de melaza concentrada y agua.

Dicho tanque también tendrá un techo fijo cónico. Está constituido por un cuerpo cilíndrico de 6,04 metros de altura y 4,24 metros de diámetro. Además, albergará capacidad para contener 75 metros cúbicos de melaza diluida.

8.2.3. Tanque de almacenamiento de vinagre

El vinagre ya filtrado, será almacenado para su posterior venta al mercado.

Se trata de un depósito de 60 metros cúbicos de capacidad, con un cuerpo cilíndrico de 5,8 metros de altura y 3,71 metros de diámetro. Llevará instalado un techo fijo cónico.

8.2.4. Tanque de almacenamiento de etanol y tanques pulmón

Estos tres depósitos albergan la misma capacidad y están diseñados para contener un volumen de 30 metros cúbicos de etanol y vinagre.

Tienen una altura de 4,64 metros y 2,94 metros de diámetro.

En estos tanques se instalará un techo interior flotante para evitar que se generen sobrepresiones en el interior debido a que parte del etanol se volatilice.

CAPÍTULO 9: FERMENTADORES

9.1. Introducción

En el presente proyecto es necesario el diseño de unos fermentadores donde se produzcan por un lado la fermentación alcohólica para la producción de etanol y por otro lado la fermentación acética para la producción de vinagre. En este capítulo se mencionarán los distintos tipos de fermentadores que existen, así como se describirá brevemente el diseño mecánico que se ha realizado de los fermentadores existentes en la planta descrita. Los cálculos referentes al diseño se incluirán en el ANEXO III de la presente Memoria.

9.2. Definición y requisitos fundamentales

Un fermentador, reactor o biorreactor, es un recipiente donde se lleva a cabo el proceso de fermentación. Las funciones más importantes de este tipo de recipiente es la de mantener el medio de cultivo y el microorganismo en las condiciones óptimas, de manera que se obtenga la mayor producción del compuesto de interés.

Un fermentador debe reunir los siguientes requisitos (Alicia Hernández, 2003):

- Consumo bajo de energía.
- Capacidad para mantener un mezclado uniforme del medio de cultivo y el microorganismo, con el mínimo de variaciones durante su operación.
- Adaptación fácil a diferentes procesos.
- Precio de acuerdo con las características del fermentador.
- Buena transferencia de calor.
- Sistema de mezclado que mantenga los microorganismos separados entre ellos para evitar un daño mecánico de las células.

- Diseño mecánico simple.
- Controles de pH, de oxígeno disuelto y de temperatura.
- Facilidad en la toma de muestras.
- Sistema de eliminación de calor.
- Diseño que permita mantener condiciones de asepsia durante el proceso.

Este tipo de recipiente se construye normalmente de vidrio o de acero inoxidable y el volumen de trabajo que aloja en su interior es, habitualmente, el 80% de su volumen total.

9.3. Tipos de fermentadores

Existen distintos tipos de fermentadores o biorreactores, cada uno de ellos adaptado a las condiciones de operación que se necesitan para obtener la máxima producción del compuesto de interés, estos son:

- Matraz erlenmeyer.
- Reactor de disco rotatorio.
- Reactor de tanque agitado.
- Reactor de elevación con aire (airlift).

➤ Matraz erlenmeyer

Es el “reactor” mayormente utilizado en los procesos fermentativos a escala de laboratorio. Actualmente se utiliza para seleccionar la cepa, para preparar el inóculo, también para estudiar las condiciones óptimas en las que puede desarrollarse el microorganismo adecuadamente y para la preparación del cultivo, antes de aumentar el tamaño del proceso.

El principal inconveniente que presenta el matraz erlenmeyer es la incapacidad de mantener y controlar las condiciones óptimas para el crecimiento microbiano.

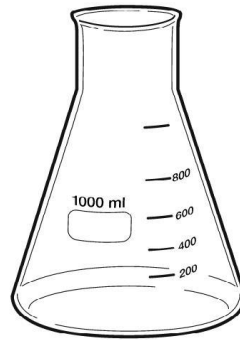


Figura 9.3.1: Matraz Erlenmeyer

➤ **Reactor de disco rotatorio**

Este fermentador consta de dos partes principales: una serie de discos que forman un cilindro, que están contruidos de un material que favorece la adhesión de los microorganismos a la superficie, y un recipiente que contiene el medio de cultivo.

El cilindro se sumerge en el cultivo hasta la mitad y comienza a girar lentamente, haciendo que los microorganismos estén en contacto con el aire y con el medio de cultivo de manera alterna.

Estos fermentadores están especialmente indicados para el tratamiento de aguas residuales.

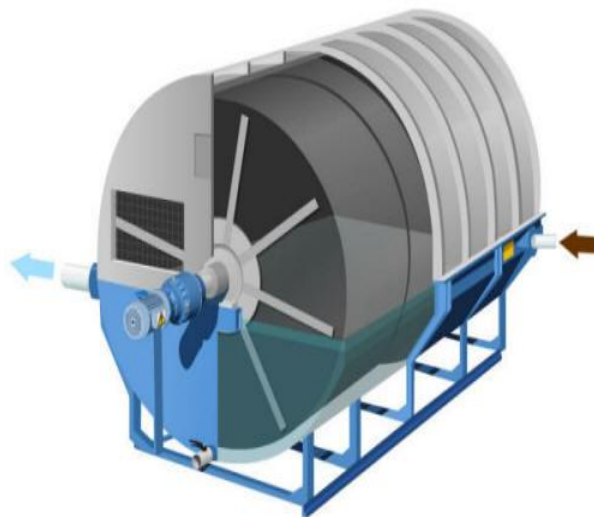


Figura 9.3.2: Reactor de disco rotatorio

➤ Reactor de tanque agitado

Se trata, principalmente, de un recipiente construido en acero inoxidable o vidrio con un motor en la parte superior (cabezal) o inferior (fondo) que tiene la función de agitar el caldo de fermentación.

Las partes fundamentales de un reactor de este tipo son:

- Placas deflectoras: se usan para evitar que se formen vórtices alrededor del sistema de agitación, mejorando así el mezclado.
- Sistema de agitación (motor, eje y palas impulsoras): aumenta la disponibilidad de oxígeno, ya que disminuye el tamaño de las burbujas y, de esta manera, aumenta la solubilidad del oxígeno en el medio de cultivo. Realiza también el proceso de mezclado.
- Sistema de aireación: el oxígeno es poco soluble, por lo que debe suministrarse continuamente. Se incorpora a través de una bomba, cerca de las palas de impulsión del sistema de agitación, para que estas lo distribuyan por todo el cultivo.
- Sistema de transferencia de calor (encamisado o serpentín): tiene la misión de mantener el caldo de fermentación a la temperatura óptima de crecimiento de los microorganismos. Los sistemas de transferencia más empleados son los serpentines (tubos en espiral que se colocan en el interior del reactor a través de los cuales circula el fluido refrigerante) y la camisa (consiste en una doble pared que cubre el reactor y a través del cual circula el fluido refrigerante).
- Dispositivos de extracción, adición y control: se trata de distintas aberturas en el reactor, que permiten la adición de antiespumantes, medio de cultivo y los microorganismos, así como la extracción del compuesto de interés. Los controladores son dispositivos que contienen sensores para controlar las condiciones en el interior del reactor, como el pH, la temperatura, el oxígeno disuelto, etc.

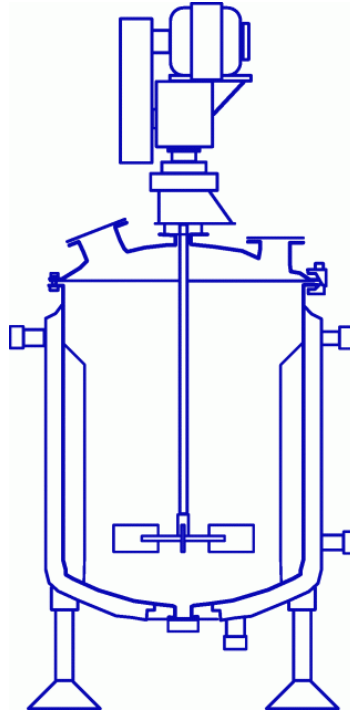


Figura 9.3.3: Reactor de tanque agitado

➤ Reactor de elevación con aire (airlift)

Este tipo de fermentadores se han diseñado de tal manera que el aire es el que lleva a cabo la agitación. El aire se adiciona por la parte inferior del fermentador, ejerciendo una fuerza de arrastre del líquido por todo el recipiente.

Presenta unas ventajas con respecto al reactor de tanque agitado:

- El daño en las células es mínimo.
- Al no incluir agitadores mecánicos, se requiere de menos energía para poner en marcha su funcionamiento, por lo que los costes de dicho fermentador serían menores.



Figura 9.3.4: Reactor de elevación con aire (Airlift)

En el presente proyecto se utilizarán, para los fermentadores que llevan a cabo la fermentación acética, los reactores de elevación con aire (airlift), debido a las ventajas que presenta con respecto al otro reactor más utilizado, que es el de tanque agitado.

La aireación y la agitación del caldo de fermentación la llevará a cabo un equipo conocido como Venturi Jet.

Su funcionamiento se basa en el principio de inyección a través del efecto venturi, produciendo una mezcla efectiva de aire-líquido creando una óptima aireación y suspensión de los sólidos. La velocidad del flujo de líquido primario generado por la bomba se acelera al salir a través de una boquilla de menor sección reduciendo lo suficiente la presión interna como para aspirar aire (flujo secundario).

Ambos flujos de líquido y aire se mezclan en el eyector y lo abandonan como un chorro de líquido con burbujas que se incorpora al reactor.

A continuación se muestra esquemáticamente su funcionamiento y las partes que componen este equipo:

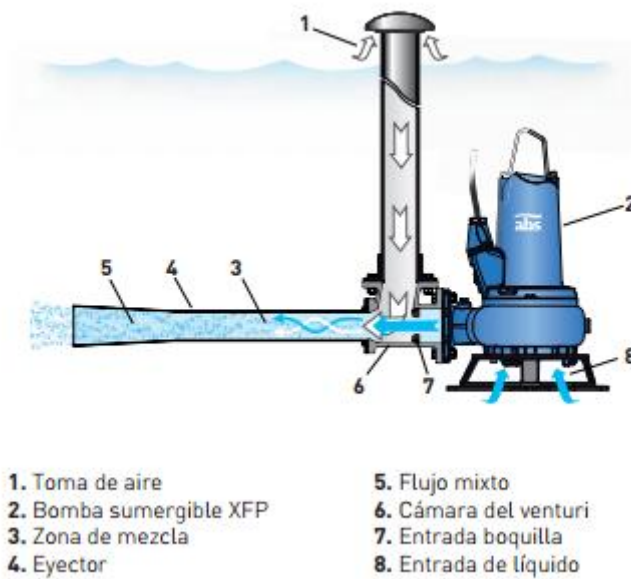


Figura 9.3.5: Aireador/agitador Venturi Jet (Fuente: SULZER)

Este tipo de dispositivos consta de una bomba sumergible. En el caso de los reactores diseñados, el montaje del Venturi Jet será exterior, de manera que se facilite el proceso de mantenimiento. Así pues, en la zona inferior del reactor, habrán dos tomas:

- Una toma con su correspondiente conducción donde se aspirará el líquido del interior del fermentador.
- Una toma a través de la cual se devuelve al fermentador la mezcla de aire-líquido producida por la acción de este dispositivo.

El aire atmosférico que aspirará el Venturi Jet se tomará directamente del aire presente en la planta diseñada.

Los reactores que llevan a cabo la fermentación alcohólica no necesitan ser aireados ni agitados, por lo que serán recipientes “vacíos” con sus correspondientes tomas y dispositivos de adición, extracción y control.

9.4. Diseño de los fermentadores

El diseño de los fermentadores donde se lleva a cabo la fermentación alcohólica se ha contemplado de la misma manera que el diseño de los acetificadores.

La diferencia entre ellos radica en que los fermentadores alcohólicos no disponen de un sistema de refrigeración puesto que el salto térmico en la reacción es muy bajo y no produciría variaciones en la temperatura de operación. Tampoco dispone de sistema de agitación ya que no necesita mantener un gradiente de temperatura y tampoco se quiere favorecer la aireación del medio puesto que se trabaja bajo condiciones anaerobias.

En el caso de los acetificadores, sí se dispone de un sistema de refrigeración mediante un serpentín interno ya que el salto térmico en la reacción si puede producir variaciones en la temperatura e interesa que esta se mantenga constante a 30 grados centígrados. Dispone además, como se ha descrito anteriormente, de un sistema de aireación/agitación Venturi Jet que favorece la oxigenación del medio y la homogeneización del mismo.

El diseño de los fermentadores se ha realizado bajo la normativa americana ASME Sección VIII, División 1, las especificaciones de Cepsa ESP-1101-1. Los cálculos referentes al diseño de estos fermentadores se encuentran reflejados en el ANEXO III de la presente Memoria.

9.4.1. Principales elementos de los fermentadores

Los principales elementos que destacan en el diseño de un fermentador son los siguientes:

➤ Carcasa

Las dimensiones de la carcasa se encuentran calculadas en los anexos referentes al diseño de los fermentadores. Según todo el proceso de cálculo se determina un diámetro interior de 1,85 metros y una altura de 5,56 metros.

El material que se ha elegido para la carcasa es el acero inoxidable SA-240 Tipo 316L, especialmente indicado para recipientes que estén en contacto con fluidos corrosivos.

➤ Cabezales y fondos

Al igual que con la carcasa, los cálculos referentes al diseño de los cabezales y los fondos de los fermentadores se encuentran detallados en los anexos de la presente memoria.

Se usarán fondos y cabezales toriesféricos, de tipo Kloppe, ya que los fondos toriesféricos de tipo Korbbogen, Elípticos ó Semiesféricos, se usarán cuando se den alguna de las siguientes condiciones:

- a) Presión de diseño igual o superior a 7kg/cm^2 .
- b) Temperatura de diseño superior a 350°C .
- c) Fondos inferiores de recipientes verticales cuya relación L/D sea igual o mayor que 10. (L = altura recipiente (incluido faldón); D = diámetro medio del recipiente).
- d) Cabezales de recipientes verticales que deban soportar cargas concentradas (agitadores, etc.).

Según los cálculos realizados, los espesores de los cabezales y de los fondos son de 6 mm y 8 mm respectivamente, tienen una altura de 401,07 mm y poseen un volumen de 0,52 metros cúbicos.

Al igual que ocurre con la carcasa, el material seleccionado para la construcción de los cabezales y los fondos ha sido el acero inoxidable SA-240 Tipo 316L.

➤ Soportes

Los recipientes verticales se diseñarán como unidades autosoportadas. Como soportes pueden utilizarse: faldones, patas, silletas y consolas.

Se utilizarán faldones cuando se cumpla alguna de las siguientes condiciones:

- a) El diámetro de la envolvente sea superior a 1500 mm (1,5 m).
- b) La relación altura total/diámetro del recipiente, sea mayor que 5, ó si la altura del soporte es mayor de 1500 mm (1,5 m).
- c) Puedan esperarse vibraciones.
- d) El peso del recipiente lleno de agua sea superior a 15000 kg.

Debido a que el diámetro de la envolvente es superior a 1,5 metros, se hará uso de los faldones para soportar verticalmente a los fermentadores.

Los faldones irán soldados al fondo inferior de manera que los diámetros medios del faldón y de la envolvente coincidan. En ningún caso será soldado al exterior de la envolvente.

Los fermentadores se situarán en posición vertical apoyado sobre faldones de acero al carbono SA-285 de 1,5 metros de altura.

9.4.2. Sistema de refrigeración de los fermentadores acéticos

Debido a que en este proceso de fermentación se desprende mucho calor, se ha optado por instalar un serpentín interno en los acetificadores.

Se ha elegido como intercambiador de calor el serpentín debido a que su área de intercambio es mayor que en el caso de otros intercambiadores, además de que los coeficientes de convección, h , son más elevados.

También permiten mantener la esterilidad del medio al no encontrarse en el exterior del fermentador, es un equipo compacto y no interfiere en la mezcla.

Los cálculos referentes al diseño de este equipo se encuentran detallados en el Anexo VI del presente proyecto. Sus dimensiones son:

- Número de vueltas: $n=39$ vueltas
- Área del serpentín: $a=13,41 \text{ m}^2$
- Longitud del serpentín: $l=200,44 \text{ m}$

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

- Diámetro nominal de la tubería: $D=1/2$ in
- Diámetro de la espiral: $D_e=1,65$ m

CAPÍTULO 10: SISTEMAS DE FILTRACIÓN

10.1. Concepto de filtración

La filtración es un método de separación de una mezcla líquido-sólido. Este proceso consiste en hacer pasar esta mezcla por filtros con poros que retienen las partículas y dejan pasar el líquido. La eficiencia de la filtración depende de:

- El tamaño del microorganismo y su morfología.
- La presencia de capas mucosas en el microorganismo.
- El pH y la viscosidad del caldo de fermentación.

10.2. Etapas de filtración llevadas a cabo en el proceso

El proceso que se llevará a cabo en la planta industrial diseñada en el presente proyecto consta de una doble fermentación, como se ha comentado en capítulos anteriores. Por un lado se produce una fermentación alcohólica llevada a cabo por la levadura *Saccharomyces cerevisiae* para obtener etanol y por otro lado se realiza una fermentación acética donde interviene la bacteria *Acetobacter aceti* y donde se obtiene vinagre.

Este producto intermedio (etanol) y producto final (vinagre) contienen a estas levaduras y bacterias en su seno, lo que hace que sean indeseables una vez concluidas las etapas de fermentación.

La presencia de levaduras en el etanol puede resultar perjudicial en la posterior etapa de fermentación acética, haciendo proliferar otros tipos de microorganismos indeseables en esta etapa e inhibiendo el crecimiento de la bacteria encargada de llevar a cabo la producción de vinagre.

Es por este motivo que el caldo de fermentación proveniente de la etapa de producción de etanol deberá pasar por un proceso de filtrado, para así poder recuperar la levadura y hacer que el etanol que va a utilizarse en la posterior etapa de fermentación acética quede libre de microorganismos que puedan interferir en el proceso negativamente.

De igual manera, al finalizar todo el proceso descrito en el proyecto, el vinagre obtenido deberá filtrarse, ya que las bacterias inactivas que se encuentran en suspensión hacen que este se muestre con cierta turbidez, algo indeseable teniendo en cuenta que la gran mayoría de los vinagres que se comercializan presentan un aspecto transparente y brillante.

El proceso de filtrado del vinagre se llevará a cabo mediante un sistema de filtración distinto al habitualmente usado en la industria, se trata del sistema de filtración tangencial, que se describirá posteriormente en el presente capítulo.

10.3. Tipos de filtros más utilizados en los procesos de fermentación

Existen dos tipos de filtros que son los más utilizados industrialmente para llevar a cabo el proceso de filtrado de caldos de fermentación: son los filtros prensa y los filtros rotatorios a vacío. También se lleva a cabo el proceso de separación mediante filtros centrífugos, pero estos equipos se utilizan cuando la operación de filtrado quiere realizarse muy rápidamente, además son mucho más caros que los filtros descritos, por lo que se descarta esta opción.

10.3.1. Filtro prensa

Se utiliza habitualmente en procesos continuos y semicontinuos. En este tipo de filtros, se ejerce una presión mayor a la atmosférica al bombear el caldo de fermentación dentro del filtro, lo que produce un flujo del filtrado a través del sistema.

Se alternan distintas placas cubiertas por filtros a ambos lados incluyendo marcos metálicos a su alrededor. Todo este sistema se une por mecanismos hidráulicos.

El caldo de fermentación se introduce en un canal y pasa por los marcos metálicos. Las partículas sólidas quedan retenidas en el filtro y el líquido filtrado sale por las placas filtrantes.

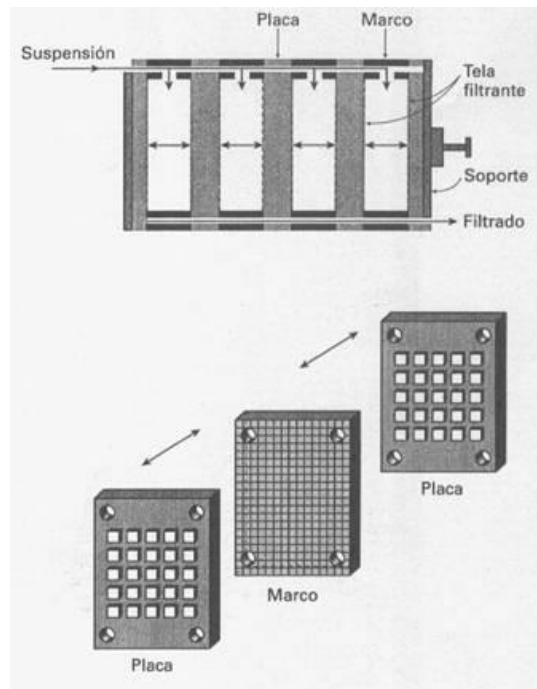


Figura 10.3.1.a.: Filtro prensa.

10.3.2. Filtro rotatorio a vacío

Se usa principalmente en procesos discontinuos, como en la recuperación de hongos, bacterias y otros tipos de microorganismos presentes en el caldo de fermentación.

Lo compone un tambor cilíndrico que se encuentra sumergido hasta la mitad en el líquido que se pretende filtrar (conocido también como “papilla de alimentación”). La superficie del tambor tiene varios compartimentos separados mediante tabiques y se encuentra cubierta por un filtro.

Cada compartimento del tambor se encuentra comunicado al eje a través de una tubería. Este gira y, por vacío, comienza el proceso de filtrado, penetrando la

papilla en cada compartimento por succión y quedando retenidas las partículas sólidas en el filtro. El líquido filtrado se recupera desde el centro del tambor, donde ha sido conducido a través de las tuberías.

Posteriormente, las partículas sólidas se separan del filtro mediante inyección de aire comprimido en la superficie del mismo y con la ayuda de una cuchilla.

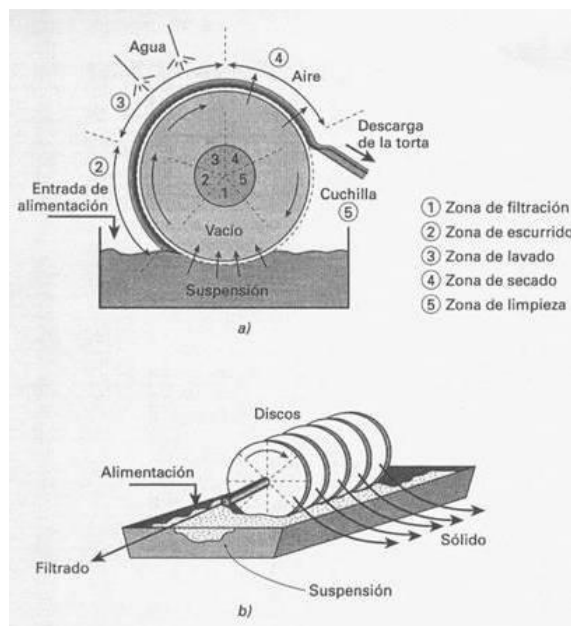


Figura 10.3.2.a.: Filtro rotatorio a vacío.

10.3.3. Sistema de filtración tangencial

El sistema empleado para la filtración y clarificación del vinagre obtenido en la etapa de fermentación acética será llevado a cabo por un sistema de filtración tangencial.

La filtración tangencial es un proceso que usa membranas semipermeables para concentrar, purificar o separar partículas muy finas, microorganismos y gotas de emulsión en procesos biotecnológicos, en la industria alimentaria y en el tratamiento de residuos presentes en el agua, principalmente.

La separación se lleva a cabo mediante presión. Tangencialmente a la superficie filtrante fluye un "retenido" formado por sustancias que no pueden atravesar los poros de la membrana, y paralelo a la misma, fluye un "permeado", que en la gran

mayoría de los casos tiene valor comercial, como es en este caso el vinagre, que lo constituyen partículas que sí pueden atravesar los poros de la membrana.

Las membranas que se utilizan en este proceso poseen una estructura microporosa, que separan las partículas que tienen un tamaño entre 0,02 y 20 μm . Pueden ser de distintos materiales: sintéticas orgánicas, cerámicas, masa de carbón, vidrio, zeolíticas, metal, composite, etc.

Este sistema de filtración presenta diversas ventajas con respecto a otros sistemas de separación convencionales como son la destilación, centrifugación, extracción y la filtración convencional:

- Es un proceso atérmico.
- No involucra cambios de fase.
- Se puede operar a baja presión.
- Se realiza a bajas temperaturas.
- Separación sin la necesidad de utilizar materiales auxiliares.
- Posibilidad de operación continua y automatizada.
- Costes de procesamiento relativamente bajos.
- Gran área de filtración por volumen del sistema.
- Construcción modular.
- Facilidad de integración entre varios módulos o adaptación a procesos ya existentes.

El inconveniente principal de estos equipos radica en el alto coste de capital necesario para su adquisición, atribuido principalmente al alto valor de las membranas.

CAPÍTULO 11: SISTEMA DE TUBERÍAS

11.1. Tuberías

Las tuberías del presente proyecto han sido diseñadas bajo la normativa americana ASME B31.3.: Tuberías de Proceso. Dicho código es el más utilizado para el diseño de sistemas de conducción de fluidos.

En el caso de las tuberías de acero, los diámetros nominales se encuentran entre 1/8 y 30 pulgadas. En el presente proyecto, se ha hecho uso de tuberías de un diámetro nominal comprendido entre 1 ¼ y 5 pulgadas.

En la siguiente tabla se muestran las distintas líneas con sus respectivos diámetros nominales y externos:

Línea	Tramo	Fluido	D nominal (in)	D externo (in)	D externo (mm)
1	TAMC → TAMD	Melaza concentrada	1,5	1,9	48,3
2	TAMD → PB1	Melaza diluida	1,25	1,66	42,2
	PB1 → FA1		1,25	1,66	42,2
	PB1 → FA2		1,25	1,66	42,2
	PB1 → FA3		1,25	1,66	42,2
	PB1 → FA4		1,25	1,66	42,2
3	FA1 → PB2	Etanol	2,5	2,875	73
	FA2 → PB2		2,5	2,875	73
	FA3 → PB2		2,5	2,875	73
	FA4 → PB2		2,5	2,875	73
4	PB2 → TP1	Etanol	2,5	2,875	73
	PB2 → TP1		2,5	2,875	73
	PB2 → TP1		2,5	2,875	73
	PB2 → TP1		2,5	2,875	73
5	TP1 → TAE	Etanol	5	5,563	141,3
6	TAE → PB3	Etanol	1,25	1,66	42,2
	TAE → PB3		1,25	1,66	42,2
	TAE → PB3		1,25	1,66	42,2
	TAE → PB3		1,25	1,66	42,2
7	PB3 → FAC1	Etanol	1,25	1,66	42,2
	PB3 → FAC2		1,25	1,66	42,2
	PB3 → FAC3		1,25	1,66	42,2
	PB3 → FAC4		1,25	1,66	42,2
8	FAC1 → PB4	Vinagre	2,5	2,875	73
	FAC2 → PB4		2,5	2,875	73
	FAC3 → PB4		2,5	2,875	73
	FAC4 → PB4		2,5	2,875	73
9	PB4 → TP2	Vinagre	2,5	2,875	73
	PB4 → TP2		2,5	2,875	73
	PB4 → TP2		2,5	2,875	73
	PB4 → TP2		2,5	2,875	73
10	TP2 → FT	Vinagre	3	3,5	88,9
11	FT → TAV	Vinagre	3	3,5	88,9

Tabla 11.1.a.: Diámetros nominales y exteriores de las conducciones.

Donde:

Tramo	Definición
TAMC → TAMD	Tramo T.A. Melaza concentrada al T.A. Melaza diluida
TAMC → PB1	Tramo T.A. Melaza diluida al parque de bombas 1
PB1 → FA1	Tramo parque de bombas 1 al fermentador alcohólico 1
PB1 → FA2	Tramo parque de bombas 1 al fermentador alcohólico 2
PB1 → FA3	Tramo parque de bombas 1 al fermentador alcohólico 3
PB1 → FA4	Tramo parque de bombas 1 al fermentador alcohólico 4
FA1 → PB2	Tramo fermentador alcohólico 1 al parque de bombas 2
FA2 → PB2	Tramo fermentador alcohólico 2 al parque de bombas 2
FA3 → PB2	Tramo fermentador alcohólico 3 al parque de bombas 2
FA4 → PB2	Tramo fermentador alcohólico 4 al parque de bombas 2
PB2 → TP1	Tramo parque de bombas 2 al tanque pulmón 1
TP1 → TAE	Tramo tanque pulmón 1 al T.A. Etanol
TAE → PB3	Tramo T.A. Etanol al parque de bombas 3
PB3 → FAC1	Tramo parque de bombas 3 al fermentador acético 1
PB3 → FAC2	Tramo parque de bombas 3 al fermentador acético 2
PB3 → FAC3	Tramo parque de bombas 3 al fermentador acético 3
PB3 → FAC4	Tramo parque de bombas 3 al fermentador acético 4
FAC1 → PB4	Tramo fermentador acético 1 al parque de bombas 4
FAC2 → PB4	Tramo fermentador acético 2 al parque de bombas 4
FAC3 → PB4	Tramo fermentador acético 3 al parque de bombas 4
FAC4 → PB4	Tramo fermentador acético 4 al parque de bombas 4
PB4 → TP2	Tramo parque de bombas 4 al tanque pulmón 2
TP2 → FT	Tramo tanque pulmón 2 al filtro tangencial
FT → TAV	Tramo filtro tangencial al T.A. Vinagre

Tabla 11.1.a.: Nomenclatura utilizada en los tramos de tubería.

El espesor de la pared de la conducción viene determinado por el número de cédula o Schedule, el cual asocia un valor de espesor en función del diámetro nominal escogido. Las tuberías que se encuentran en la planta presentan un número de cédula o Schedule de 5S y 40S.

11.2. Material utilizado en las tuberías

En la planta diseñada en el presente proyecto deberán transportarse cinco tipos de fluidos:

- Melaza de remolacha concentrada
- Melaza de remolacha diluida

- Etanol
- Vinagre
- Agua

Las conducciones que transportan melazas concentradas y diluidas no necesitan de un material con propiedades resistentes a la corrosión, es por ello que se usará acero al carbono SA-285, ya que es un material más económico.

El agua que recorre serpentín deberá circular a través de una tubería de acero inoxidable AISI 316L, ya que el fluido donde se sumerge posee carácter muy corrosivo.

El resto de conducciones que transportan etanol y vinagre también serán construidas en acero inoxidable AISI 316L, debido también, al carácter corrosivo de estos fluidos.

11.3. Accesorios

Será necesario la instalación de distintos accesorios en la red de tuberías presente en la planta diseñada como: válvulas de regulación y retención, codos de 90°, principalmente.

Estos accesorios estarán contruidos en acero inoxidable y acero al carbono, al igual que los distintos tramos de tuberías presentes en la planta.

Se instalarán cuantos sean necesarios para asegurar el buen funcionamiento de las instalaciones.

CAPÍTULO 12: SISTEMAS DE IMPULSIÓN

12.1. Introducción

En la planta de producción de vinagre diseñada en el presente proyecto, los fluidos que habrá que impulsar desde un punto a otro son líquidos.

Los equipos dedicados a la impulsión de líquidos se denominan bombas. Se trata de máquinas hidráulicas que se encargan de suministrar energía mecánica a fluidos incompresibles. La selección y aplicación adecuadas de las bombas requiere una comprensión de sus características de funcionamiento y usos típicos.

12.2. Criterios para selección de bombas

A la hora de seleccionar una bomba para una aplicación particular, deben tenerse en cuenta una serie de factores, como:

- La naturaleza del líquido que va a bombearse.
- La capacidad requerida (caudal volumétrico a impulsar).
- La carga total de la bomba.
- El tipo de fuente energética (motor eléctrico, motor diesel, turbina de vapor).
- Importe de la bomba, de su instalación, de operación y mantenimiento.
- Otros factores como:
 - Códigos y estándares que rigen las bombas.
 - Condiciones en el lado de la succión (entrada) y en el lado de la descarga (salida).
 - Limitaciones de espacio, peso y posición y condiciones ambientales.

La naturaleza del fluido se caracteriza por su temperatura en las condiciones de bombeo, densidad, viscosidad, tendencia a generar corrosión o erosión en las distintas partes de la bomba y la presión de vapor a la temperatura de bombeo.

Una vez se ha seleccionado la bomba, el fabricante debe especificar una serie de características, entre las que se citan las siguientes:

- Tipo de bomba y fabricante.
- Capacidad, carga, velocidad de operación, rendimiento y NPSHr (Carga de succión neta positiva requerida).
- Tamaño de la bomba (dimensiones, peso).
- Tamaño y tipo de la conexión de la succión y de la conexión de la descarga.
- Especificaciones de la alimentación (potencia requerida, voltaje, fase, frecuencia, tamaño del armazón, tipo de estructura).
- Tipo de acoplamiento y características de montaje.
- Materiales y accesorios especiales que se requieran si los hay.
- Diseño del sellado y materiales de sellado.

12.3. Tipos de bombas

La impulsión de los líquidos puede producirse de distintas maneras, aunque suele ser de dos tipos:

- Por desplazamiento volumétrico del fluido: bombas de desplazamiento positivo, o volumétricas.
- Por la acción de una fuerza centrífuga: bombas centrífugas.

12.3.1. Bombas de desplazamiento positivo

En estas bombas, el líquido es confinado en un espacio interior de la bomba, donde se le comunica energía, siendo desplazado a continuación a la zona de expulsión.

Este tipo de bombas proporciona una cantidad de líquido constante en cada embolada o revolución de la parte móvil, sin que el líquido pueda circular libremente a través del cuerpo de la bomba.

Al ser constante el caudal de líquido en cada embolada y trabajar el motor a velocidad constante, el caudal de salida dependerá solamente del tamaño de la bomba, su diseño, y las condiciones de succión.

Según el mecanismo de impulsión del líquido se divide en:

Bombas de desplazamiento positivo (volumétricas)	
Bombas alternativas o reciprocantes	Bombas rotatorias
De émbolo De pistón De diafragma	De ruedas dentadas De lóbulos De ruedas excéntricas De paletas De tornillo De hélica salomónica Peristálticas

Tabla 12.3.1.a.: Bombas de desplazamiento positivo.

12.3.1.1. Bombas alternativas

Como se puede ver en la tabla anterior, las bombas alternativas pueden ser de los siguientes tipos: de émbolo, de pistón y de diafragma. Las bombas de émbolo o pistón la forman un cilindro de un determinado diámetro que es movido por una biela, comprimiendo de esta manera al líquido en la cámara en que se aloja.

El caudal expulsado es un caudal fluctuante, ya que durante la admisión no existe descarga de líquido y durante la expulsión del mismo el caudal va variando.

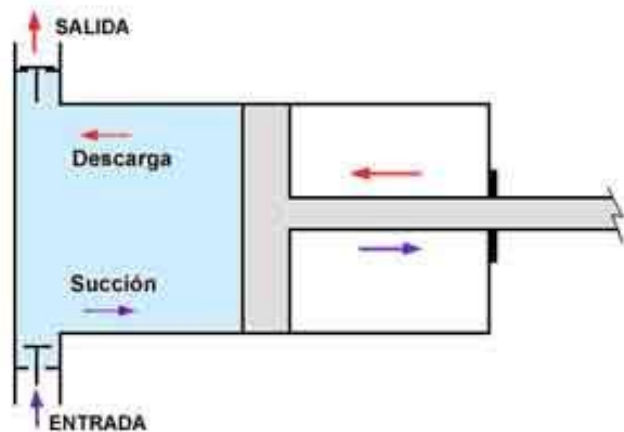


Figura 12.3.1.1.a.: Mecanismo de funcionamiento de una bomba de pistón o émbolo.

Las presiones que se alcanzan en la salida suelen ser elevadas, superiores a $5 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$ en bombas de pistón y hasta $1,4 \cdot 10^5 \text{ kN/m}^2$ con bombas de émbolo.

Este tipo de bombas son realmente útiles para impulsar líquidos muy viscosos por el alto esfuerzo cortante que se crea sobre las paredes del cilindro al paso del émbolo, favoreciendo así la estanqueidad del conjunto; no se pueden usar para bombear líquidos que contengan sólidos abrasivos, debido a los daños que pudieran ocasionarse sobre las superficies pulidas del interior.

El rendimiento de estas bombas es superior al 90%. Algunos de sus inconvenientes es que el tamaño de este tipo de bombas es relativamente grande además del elevado coste inicial y de mantenimiento.

Las bombas de diafragma son parecidas a las de pistón o émbolo. Se diferencian de éstas en que la parte móvil la constituye una membrana flexible de metal, caucho o plástico accionada mecánica o neumáticamente.

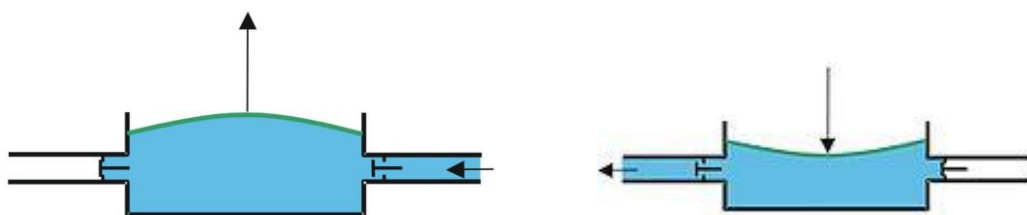


Figura 12.3.1.1.b.: Mecanismo de funcionamiento de una bomba de diafragma.

12.3.1.2. Bombas rotatorias

En el caso de las bombas rotatorias, el desplazamiento del líquido se realiza por rotación de una o más piezas móviles que se encuentran en el interior de una carcasa, determinando unas cavidades en las que se aloja el líquido que pretende desplazarse desde la entrada de la bomba hasta la zona de descarga.

La velocidad de giro es del orden de las 500 revoluciones por minuto, proporcionando al líquido medias presiones, hasta de 10^4 kN/m².

Este tipo de bombas pueden bombear líquidos no abrasivos y están indicadas especialmente para manejar líquidos algo viscosos, con propiedades lubricantes (aceites ligeros, etc.).

Entre los distintos tipos de bombas rotatorias pueden citarse las que siguen:

- De ruedas dentadas (engranajes): la conforman dos ruedas dentadas del mismo diámetro que se engranan alojadas en una carcasa. Estas impulsan al líquido confinándolo entre los dientes de las ruedas y las paredes de la carcasa.

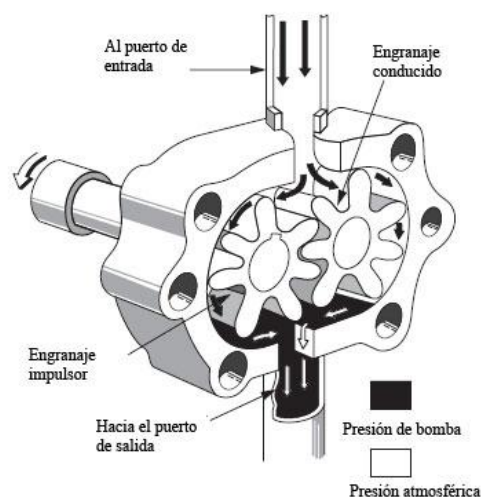


Figura 12.3.1.2.a.: Mecanismo de funcionamiento de una bomba rotatoria de ruedas dentadas.

- De lóbulos: son muy parecidas a las anteriores, con la diferencia de que dentro de la carcasa se alojan dos lóbulos que cumplen el mismo cometido.

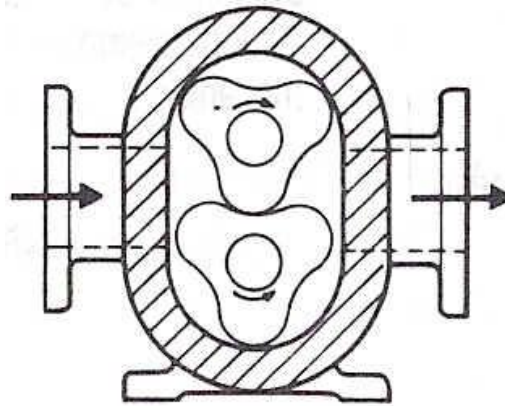


Figura 12.3.1.2.b.: Mecanismo de funcionamiento de una bomba rotatoria de lóbulos.

- De ruedas excéntricas: estas bombas rotatorias están constituidas por una rueda dentada unida al motor y otra, excéntrica con la anterior, que gira arrastrada por ella. El líquido es impulsado por ambas, estando alojado entre los dientes de las ruedas y las partes fijas.

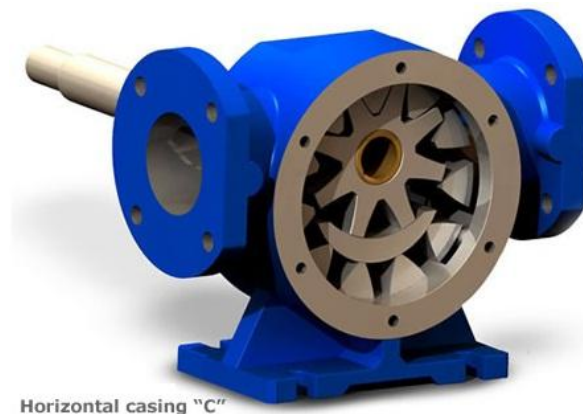


Figura 12.3.1.2.c.: Mecanismo de funcionamiento de una bomba rotatoria de ruedas excéntricas.

- De paletas: la forman paletas rectangulares unidas radialmente a un eje excéntrico con el cuerpo de la bomba, que al irse desplazando por acción de una fuerza centrífuga, determinan cavidades en las que se aloja el líquido.

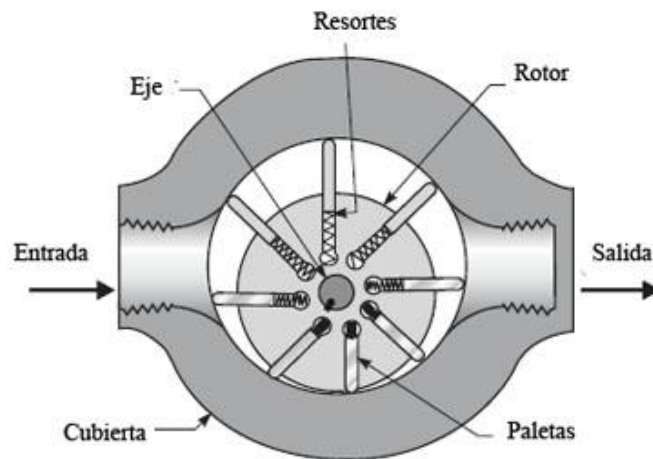


Figura 12.3.1.2.d.: Mecanismo de funcionamiento de una bomba rotatoria de paletas.

- De tornillo: estas bombas son similares a las de ruedas dentadas, constan de uno o más motores cilíndricos formando una especie de tornillo que encierran al líquido entre sus estrías y las paredes de la cavidad donde se alojan, obligando a este a que circule en dirección axial desde un extremo al otro.

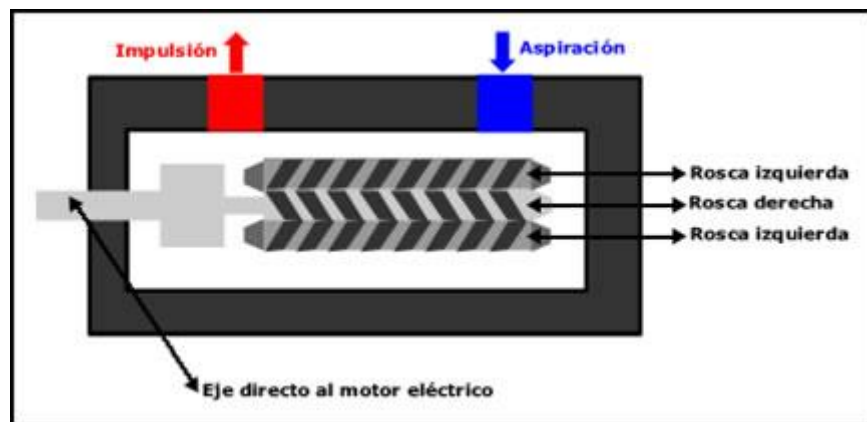


Figura 12.3.1.2.e.: Mecanismo de funcionamiento de una bomba rotatoria de tornillo.

- De hélice salomónica: son muy parecidas a las anteriores, siendo realmente una modificación de estas, ya que en lugar de un rotor cilíndrico, están compuestas por un rotor helicoidal metálico cuyo eje proporciona una trayectoria circular dentro de una cavidad fija.

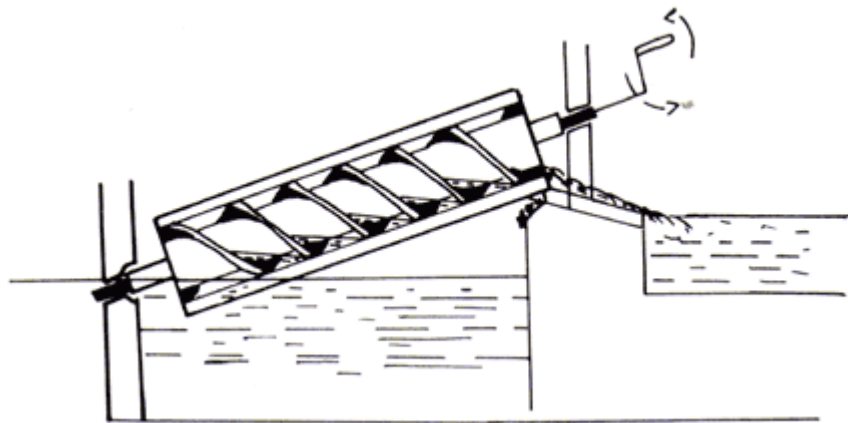


Figura 12.3.1.2.f.: Mecanismo de funcionamiento de una bomba rotatoria de hélice salomónica.

- Peristálticas: estas bombas constan de una tubería flexible y unas ruedas. Estas comprimen sucesivamente a la tubería, girando continuamente. Obligan al líquido a que circule en la dirección del giro. Suministran caudales reducidos, por lo que suelen usarse a escala de laboratorio y no a escala industrial.

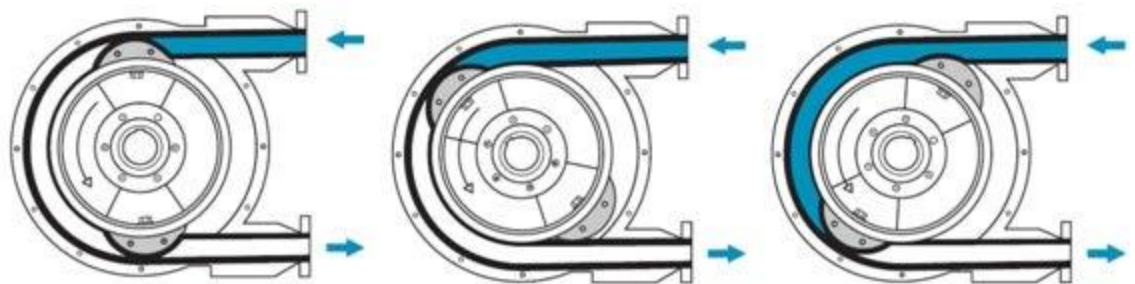


Figura 12.3.1.2.g.: Mecanismo de funcionamiento de una bomba rotatoria peristáltica.

12.3.2. Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas son la clase más importante de bombas utilizadas industrialmente debido a las ventajas que presenta: gran versatilidad, bajo coste, fácil diseño, operación y mantenimiento. Normalmente constan de varias partes:

1. Una tubería de aspiración que concluye en el eje de una pieza que gira a gran velocidad (impulsor o rodete).
2. Impulsor o rodete, formado por unos álabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular o voluta.

3. Una tubería de impulsión o descarga.

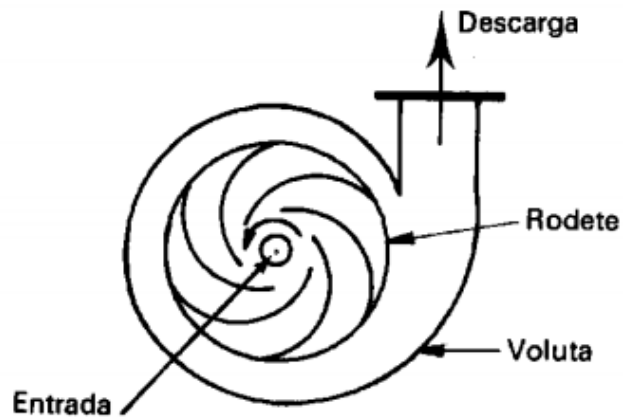


Figura 12.3.2.a.: Mecanismo de funcionamiento de una bomba centrífuga.

El rodete va unido al eje, siendo la parte móvil de la bomba. El líquido penetra axialmente en la bomba a través de la tubería de aspiración hasta el centro del rodete, que ha sido accionado por un motor, sufriendo un cambio de dirección brusco, y absorbiendo un trabajo.

Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo expulsadas al exterior mediante una fuerza centrífuga, de manera que abandonan el rodete hacia la voluta a alta velocidad.

En la voluta se produce un aumento en la sección de paso, por lo que la velocidad disminuye ligeramente, transformándose parte de la energía cinética adquirida en el rodete en energía de presión, siendo evacuado por la tubería de impulsión. La presión del líquido aumenta a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta.

12.3.2.1. Características del funcionamiento de las bombas centrífugas

Las bombas centrífugas suelen operar a velocidad constante en el mayor número de los casos, por lo que el caudal suministrado (denominado normalmente como “capacidad de la bomba”) depende solamente, para una misma bomba, de las presiones de aspiración y descarga.

Para utilizar adecuadamente una bomba centrífuga es necesario conocer la variación de ciertas magnitudes, como la presión de descarga, la potencia consumida y el rendimiento de los caudales. Estas variaciones suelen expresarse de manera gráfica para cada tipo de bomba.

La gráfica que representa la variación de la carga total frente al caudal (H-Q) se denomina “curva característica de la bomba”, que muestra la carga total sobre la bomba H frente a la capacidad o descarga Q.

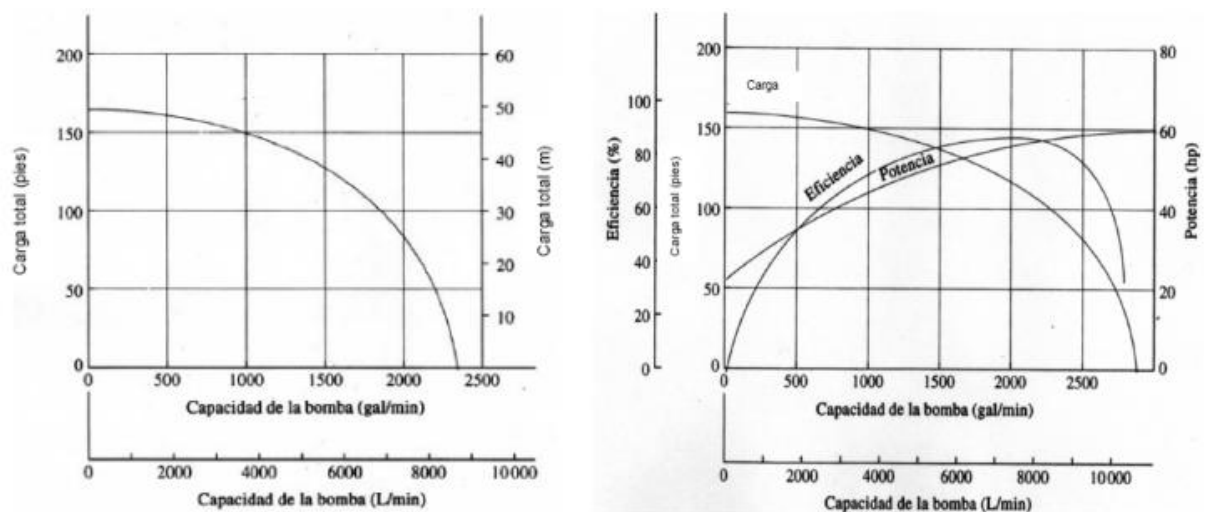


Figura 12.3.2.1.a.: Curva característica de una bomba centrífuga.

12.3.3. Características más significativas de las bombas de desplazamiento positivo y de las bombas centrífugas

	Bombas centrífugas	Bombas de desplazamiento positivo
Líquidos que pueden impulsar	Aguas que contienen sólidos en suspensión. Líquidos ligeramente viscosos.	Líquidos viscosos y pastosos.
Presiones de trabajo	Medias.	Altas.
Caudales	Grandes.	Pequeños.
Aspiración	Necesario el cebado.	Autoaspirantes.
Característica	El caudal que proporciona la bomba viene determinado por la presión de trabajo.	Proporcionan un caudal constante independientemente de la presión de trabajo.
Consumo eléctrico	Alto si la presión de trabajo es baja.	Alto si la presión de trabajo es alta.
Pulsaciones	Muy uniformes.	Muy pulsantes.

Tabla 12.3.3.a.: Características generales de las bombas centrífugas y de desplazamiento positivo. Fuente: Suffo. M, 2006.

En la planta de producción de vinagre diseñada en el presente proyecto habrá que impulsar cuatro líquidos distintos: melazas de remolacha diluidas, etanol, vinagre y agua.

Para impulsar las melazas, así como el resto de líquidos mencionados, se utilizarán bombas de tipo centrífuga, ya que están especialmente indicadas para bombear aguas con sólidos en suspensión, permitiendo también trabajar con grandes caudales, además de las múltiples ventajas que presenta con respecto a las bombas de desplazamiento positivo, como son:

- Sencillez
- Bajo coste inicial
- Caudal uniforme (sin pulsaciones)
- Necesita de poco espacio para su instalación

- Bajos costes de mantenimiento y funcionamiento

El cebado de estas bombas se encuentra asegurado, por gravedad, ya que todos los depósitos de donde se succionará tienen los niveles de líquido por encima del nivel donde se encontrará la bomba.

El diseño y la selección de las bombas que se instalarán en la planta diseñada se recogen en el Anexo IV del presente proyecto.

CAPÍTULO 13: SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

13.1. Seguridad del proceso

En este capítulo se identificarán los riesgos principales dentro de la línea de proceso así como se desarrollarán las medidas más adecuadas para evitar la generación de estos dentro del ámbito laboral.

La seguridad laboral, según el Instituto Nacional de Salud e Higiene en el Trabajo (INSHT), se define como:

“El conjunto de técnicas y procedimientos que tienen por objeto eliminar o disminuir el riesgo de que se produzcan los accidentes de trabajo”.

La higiene en el trabajo se define como:

“Ciencia o conjunto de ciencias dedicadas a reconocer, evaluar y controlar aquellos factores ambientales que, produciéndose en los procesos laborales, pueden dañar la salud de los trabajadores o la de los ciudadanos de la comunidad”.

Tanto la seguridad laboral como la higiene en el trabajo se encuentran dentro de lo que se conoce como salud laboral, que según la Organización Internacional de los Trabajadores y la Organización Mundial de la Salud se define como:

“La promoción y el mantenimiento de mayor grado de desarrollo físico, mental y del bienestar social de los trabajadores en todas las ocupaciones, la prevención entre los trabajadores de las desviaciones de la salud causadas por sus condiciones de trabajo, la protección de los trabajadores en su trabajo contra los riesgos resultantes de factores adversos a la salud, la ocupación y el mantenimiento del trabajador en un entorno de trabajo adaptado a sus capacidades fisiológicas y psicológicas, y, para resumir, la adaptación del trabajo a la persona y de cada persona a su trabajo”.

Se debe realizar un análisis de riesgos, donde se valorarán los que suponen un peligro para la salud y la seguridad de los trabajadores en el lugar de trabajo.

Cualquier actividad llevada a cabo por el ser humano conlleva un riesgo, por lo que no es posible eliminar esa probabilidad, aunque se puede disminuir la posibilidad de que este ocurra, disminuir las consecuencias, y si se da, actuar correctamente.

En la planta diseñada en el presente proyecto se han identificado varios tipos de riesgos:

1. Riesgo Químico

Según el Real Decreto 374/2001, de 6 de abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, se entiende por agente químico:

“Todo elemento o compuesto químico, por sí solo o mezclado, tal como se presenta en estado natural o es producido, utilizado o vertido, incluido el vertido como residuo, en una actividad laboral, se haya elaborado o no de modo intencional y se haya comercializado o no”.

Y se entiende por exposición a un agente químico:

“Presencia de un agente químico en el lugar de trabajo que implica el contacto de éste con el trabajador, normalmente por inhalación o por vía dérmica”.

Estos agentes químicos pueden presentarse de diversas formas, ya sea en forma de partículas, gases, vapores, humo, etc.

Las principales vías de entrada de estos agentes tóxicos al organismo las constituyen la vía dérmica, respiratoria y digestiva.

2. Riesgo físico

Los principales riesgos físicos que pueden presentarse se encuentran dentro de alguno de los siguientes tipos:

- Ruido

- Ambiente térmico

El riesgo físico que se da con mayor frecuencia en la industria es el ruido. En la línea de proceso diseñada hay equipos que generan ruidos en el ambiente de trabajo. Se trata principalmente de las bombas hidráulicas, aunque también se generará ruido cuando se realicen operaciones de mantenimiento donde se utilizarán herramientas y otro tipo de maquinaria.

Puede definirse el ruido como:

“La sensación auditiva inarticulada generalmente desagradable. Sonido no deseado que interfiere en la comunicación entre las personas en sus actividades”.

Cuando se habla de ruido como sinónimo de contaminación acústica, se dice que:

“Es un sonido con una intensidad alta, que puede resultar incluso perjudicial para la salud humana”.

Atendiendo a la forma de presentación temporal, el ruido se clasifica en:

- Continuo: si su nivel es prácticamente constante a lo largo del tiempo.
- Intermitente: si el nivel sonoro varía de forma escalonada y bien definido.
- Variable: si su nivel sonora varía de forma continua en el tiempo pero sin ningún patrón definido.
- De impacto o de impulso: el nivel sonora presenta picos de alta intensidad y muy corta duración.

Los ruidos provocan efectos negativos sobre el organismo, sobre todo si se expone prolongadamente en el tiempo. Algunos de estos efectos pueden ser:

- Efectos auditivos:
 - Pérdida de la capacidad auditiva debido a rotura del tímpano o dislocación de los huesos del oído medio.

- Pérdida de la capacidad auditiva debido a la exposición prolongada por lesión neural en las células del órgano de Corti.
- Efectos psicofisiológicos:
 - Efectos fisiológicos motores: contracciones musculares.
 - Efectos fisiológicos vegetativos: variaciones en la frecuencia cardiaca, vasoconstricción periférica, aumento de la presión sanguínea, ralentización de los movimientos respiratorios.
 - Efectos fisiológicos electroencefalográficos.
- Efectos subjetivos:
 - Sensación de desagrado y molestia.

Debido a todos estos efectos que produce el ruido, será necesario llevar a cabo una medición de este en todas las zonas de trabajo. Para realizar esta medición será necesario disponer de una serie de equipos, como son:

- Sonómetros: es un equipo que mide el nivel de ruido que existe en un determinado lugar y en un momento dado. La unidad con la que trabaja es el decibelio.
- Dosímetro: mide la cantidad de ruido que alcanza a un trabajador en un periodo largo de tiempo. Medida del nivel de exposición diario de cualquier tipo de ruido.
- Analizador de frecuencia: identifica las frecuencias principales de un ruido.

La norma aplicada actual a este tipo de riesgos es el Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

Dicha norma establece unos valores mínimos y máximos de exposición al ruido que se recogen en la siguiente tabla:

	Nivel sonoro equivalente A (Laeq)	Nivel Pico
Valores límite de exposición	87 dB (A)	140 dB (C)
Valor superior que da lugar a una acción	85 dB (A)	137 dB (C)
Valor inferior que da lugar a una acción	80 dB (A)	135 dB (C)

Tabla 13.1.a.: Valores mínimos y máximos de exposición al ruido.

En el caso de que alguno de estos valores sea superior a lo establecido anteriormente, deberán aplicarse una serie de medidas sobre cada uno de los elementos donde esté. Los riesgos que deriven de la exposición al ruido deberán eliminarse o reducirse al nivel más bajo posible.

La reducción de estos riesgos se basará en los principios generales de prevención establecidos en el artículo 15 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, y tendrá en consideración especialmente:

- Cambios en la rutina o método de trabajo.
- Elección de otro equipo de trabajo que genere el menor ruido posible.
- Información y formación del personal para enseñarlos a utilizar un equipo con vistas a reducir el ruido que este pueda producir.
- Reducción del ruido aéreo por medio de recubrimientos con material acústicamente absorbente.
- Limitación de la duración e intensidad de la exposición realizando una rotación del personal.
- Ordenación adecuada del tiempo de trabajo.
- Aumentar la distancia existente entre la fuente de ruido y el receptor.
- Utilización de protecciones personales contra el ruido.

Con respecto al ambiente térmico en el lugar de trabajo, hay que decir que este ejerce efectos muy desfavorables en el ser humano.

Los seres humanos tienen la capacidad de mantener la temperatura corporal dentro de unos intervalos muy estrechos. Los límites mínimos y máximos de tolerancia para las células vivas corresponden a 0°C y unos 45°C; sin embargo, los seres humanos pueden soportar temperaturas internas inferiores a 35°C o superiores a 41°C, aunque deben darse en periodos muy cortos de tiempo.

El ser humano desarrolla varias respuestas fisiológicas eficaces para poder mantener la temperatura corporal dentro de esos límites. Estas facilitan la conservación, producción o eliminación del calor corporal.

Las distintas respuestas fisiológicas se dan dependiendo del ambiente térmico en el que se encuentre el trabajador, así tenemos:

- Regulación térmica en ambientes calurosos:
 - Vasodilatación periférica: es la capacidad de los vasos sanguíneos de dilatarse, generando una disminución de la presión. Se aumenta el flujo sanguíneo periférico con el fin de ayudar a regular la temperatura.
 - Sudoración: el sudor contribuye a la regulación térmica y es secretado por entre 2 y 4 millones de glándulas sudoríparas ecrinas repartidas de manera no uniforme por la superficie del cuerpo. Sin sudoración, la temperatura corporal aumentaría a un ritmo aproximado de 1°C cada 6 minutos.
- Regulación térmica en ambientes fríos:
 - Vasoconstricción periférica: se produce el estrechamiento de los vasos sanguíneos, aumentando la presión en su interior. Es una estrategia eficaz contra la pérdida de calor corporal. Consiste en aumentar el aislamiento efectivo proporcionado por la periferia, esto se consigue reduciendo el flujo sanguíneo periférico.

- Escalofríos: consiste en una contracción aleatoria involuntaria de las fibras musculares superficiales, sin reducir la pérdida de calor pero aumentando su producción.

A pesar de que el organismo responde ante diversos ataques térmicos, pueden darse trastornos producidos por el calor y el frío:

- Trastornos debidos al calor:
 - Síncope por calor: pérdida temporal del conocimiento debido a la reducción del riego cerebral. Es precedido por palidez, visión borrosa, mareo y náuseas.
 - Edema por calor: hinchazón en manos y pies. Remite al cabo de unas horas exponiéndose en un lugar fresco.
 - Calambres por calor: pueden aparecer tras una intensa sudoración como consecuencia de un trabajo físico prolongado.
 - Golpe de calor: cuadro clínico complejo caracterizado por una hipertemia incontrolada, causando lesiones en los tejidos. Provoca disfunción en el sistema nervioso central.
 - Agotamiento por calor: es el trastorno más común. Se produce debido a una deshidratación severa tras perderse una gran cantidad de sudor. Es un estado incipiente del golpe de calor que, si no recibe tratamiento, puede progresar al agotamiento.
 - Alteraciones cutáneas: aparecen erupciones en la piel asociadas a la exposición al calor. Se produce cuando la obstrucción de los conductos sudoríparos impide que el sudor alcance la superficie de la piel y se evapore.
- Trastornos debidos al frío:
 - Hipotermia: es el descenso involuntario del calor corporal por debajo de los 35°C.

- Contracción de los vasos sanguíneos periféricos.
- Enfriamiento de las extremidades, sobre todo de los dedos de las manos y los pies.
- Se presenta dificultad al hablar y se pierde destreza manual además de una pérdida de memoria.
- Congelación.

Así pues, en el lugar de trabajo habrá que controlar los siguientes factores:

- Temperatura del aire: que se relaciona con el intercambio de calor por convección. Deberá mantenerse siempre a temperatura ambiente, alrededor de los 25°C. Según el Real Decreto 486/1997, la temperatura deberá mantenerse entre los 14°C y los 27°C.
- Temperatura radiante: se relaciona con el intercambio de calor por radiación.
- Velocidad del aire: se relaciona con el intercambio de calor por convección. Según el Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, en su Anexo III, establece que los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad supere los siguientes valores:
 - ✦ Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s
 - ✦ Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,5 m/s
 - ✦ Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: 0,75 m/s
- Humedad del aire: relacionado con el intercambio por convección. Según el Real Decreto mencionado anteriormente, la humedad relativa del aire deberá encontrarse entre el 30% y el 70%.

El ambiente térmico puede controlarse midiendo los valores de la temperatura del bulbo seco (temperatura del aire), temperatura del bulbo húmedo (humedad relativa del aire), temperatura del globo (temperatura radiante) y el valor de la velocidad del aire.

El proceso llevado a cabo es el de fermentación, que es un proceso exotérmico, por lo que se desprenderá calor. La temperatura óptima ronda los 30°C que es mayor que la temperatura ambiente en invierno y menor que en verano, por lo que se aceptará este valor de temperatura como mayor que la temperatura habitual, considerándola normal.

Según el Real Decreto 1618/1980, de 4 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria, la renovación mínima del aire de los locales de trabajo, será de 30 metros cúbicos de aire limpio por hora y trabajador, en el caso de trabajos sedentarios en ambientes no calurosos y de 50 metros cúbicos en los casos restantes.

La medida que se adoptará al respecto será la instalación de equipos especializados como son los extractores de aire, que retirarán el aire caliente. Además se incorporarán unos equipos de ventilación que introduzcan constantemente aire a temperatura ambiente a la planta.

3. Riesgo de explosión e incendio

De acuerdo con el Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo, se entiende por atmósfera explosiva:

“La mezcla con el aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, en la que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada”.

Las sustancias inflamables y los combustibles se consideran sustancias que pueden llegar a formar atmósferas explosivas a no ser que al ser analizadas se demuestre que, mezcladas con el aire, no son capaces de propagar una explosión.

Se considerarán áreas de riesgo aquellas en las que puedan formarse atmósferas explosivas en cantidades tales que resulte necesaria la adopción de precauciones especiales para proteger la seguridad y la salud de los trabajadores.

Las áreas de riesgo se clasifican en distintas zonas atendiendo a la frecuencia con que se producen las atmósferas explosivas y su duración. Dependiendo de la zona que se trate se aplicarán unas medidas u otras:

- Zona 0: mezcla de aire con sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla que se presenta de forma permanente.
- Zona 1: mezcla de aire con sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla de manera ocasional o en la que es probable que se dé la formación de una atmósfera explosiva en condiciones normales.
- Zona 2: mezcla de aire con sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla que permanece durante breves periodos de tiempo o en la que no es probable que se produzca una atmósfera explosiva en condiciones normales.
- Zona 20: atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible de manera permanente.
- Zona 21: es probable la formación ocasional de una nube de polvo combustible.
- Zona 22: no es probable la formación de una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible o sólo permanece en un corto intervalo de tiempo.

En el presente proyecto se detecta una zona de atmósfera explosiva, se trata del lugar donde se encuentra situado en la planta el depósito de almacenamiento de etanol. Su concentración es muy pequeña (alrededor de 80 g/L) y la probabilidad de que se produzca un incendio o una explosión es casi nula, aun así, por seguridad, se llevarán a cabo las medidas preventivas y de protección establecidas para este tipo de riesgos.

Como medidas preventivas se llevarán a cabo las siguientes:

- Evitar en todo momento las llamas y que se produzcan chispas.
- No poner en contacto con oxidantes fuertes.
- Mantener la ventilación en todo momento en el área donde pueda producir la explosión y/o el incendio.
- Evitar en todo momento el llenado o vaciado del tanque.
- Los depósitos que contengan etanol en su interior serán rociados con agua mediante unas duchas dispuestas en la parte superior.

En el caso de que aun adoptando las medidas preventivas, se dé el caso de una fuga, habrá que evitar que se provoque la ignición de una atmósfera explosiva e intentar reducir los efectos que puedan producirse para poder así garantizar la seguridad de los trabajadores.

Las medidas de protección que se adoptarán serán:

- El personal debe estar provisto de calzado y ropa adecuada fabricados con materiales que no generen descargas electrostáticas que puedan originar la ignición de una atmósfera explosiva.
- La instalación, los aparatos, los sistemas de protección y sus correspondientes dispositivos de conexión sólo se pondrán en funcionamiento si el documento de protección contra explosiones indica que pueden usarse con seguridad en una atmósfera explosiva.
- Si existiese un derrame o fuga de los líquidos manipulados en el proceso, deberá eliminarse toda la fuente de ignición y recoger, en la medida de lo posible dicho líquido en recipientes herméticos.
- Los trabajadores tendrán que ser alertados emitiendo señales ópticas y/o acústicas de alarma. También serán desalojados antes de que se alcancen las condiciones de explosión.

- Se llevarán a cabo todas las medidas necesarias que hagan reducir al máximo los riesgos que puedan sufrir los trabajadores por los efectos físicos de la explosión.
- Disponer desde el inicio de la actividad industrial de un Plan de Emergencia y Evacuación adecuado. Deberá verificarse la seguridad general contra explosiones. La realización de las verificaciones se encomendará a técnicos de prevención con formación de nivel superior, trabajadores con experiencia de dos o más años en el campo de prevención de explosiones o personal con formación específica en dicho campo impartida por una entidad pública o privada con capacidad para desarrollar actividades formativas en prevención de explosiones.

4. Riesgo biológico

El Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo, define a un agente biológico como:

“Microorganismos, con inclusión de los genéticamente modificados, cultivos celulares y endoparásitos humanos, susceptibles de originar cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad”.

Y entiende por microorganismo:

“Toda entidad microbiológica, celular o no, capaz de reproducirse o de transferir material genético”.

Existen distintos tipos de agentes biológicos, atendiendo al riesgo de infección, así pues, se pueden presentar los siguientes tipos:

- Grupo 1: resulta poco probable que cause algún tipo de enfermedad.
- Grupo 2: puede causar algún tipo de enfermedad y supone un peligro para los trabajadores, siendo poco probable que se propague a la colectividad y existiendo generalmente profilaxis o tratamiento eficaz.

- Grupo 3: puede causar alguna enfermedad grave presentando un serio problema para los trabajadores. Existe riesgo de que se propague aunque existe generalmente un tratamiento eficaz para combatirlo.
- Grupo 4: causa una enfermedad grave suponiendo un grave peligro para los trabajadores, con muchas probabilidades de que se propague y generalmente no existe un tratamiento eficaz.

Los microorganismos utilizados en el proceso descrito no presentan ningún riesgo para la salud de los trabajadores. Además, estos microorganismos no aparecen en las tablas que recogen a los distintos agentes biológicos en los anexos del Real Decreto 664/1997.

Aunque no presenten ningún tipo de riesgo, se tomarán una serie de medidas para asegurar la salud y el bienestar de los trabajadores de la planta:

- a. Establecer procedimientos de trabajo y medidas técnicas apropiadas para evitar o minimizar la existencia de agentes biológicos en el medio de trabajo.
- b. Reducir al mínimo el número de trabajadores que puedan estar expuestos.
- c. Deberán adoptarse medidas de protección colectiva o, en su defecto, de protección individual, cuando no sea posible evitar la exposición por otros medios:
 - ◆ Guantes impermeables para establecer contacto con las melazas o residuos provenientes de los filtros.
 - ◆ Ropa de trabajo adecuada.
 - ◆ Gafas protectoras.
- d. Utilizar medidas de higiene que eviten en todo momento la dispersión del agente biológico:

- ✦ Lavar la ropa de trabajo en la planta a más de 90°C.
 - ✦ Ducharse y desinfectarse al terminar la jornada de trabajo, antes de vestirse o antes de comer.
 - ✦ Evitar la aparición de ratas, mosquitos y moscas.
 - ✦ Proceder a la vacunación de los trabajadores.
- e. Se instalará una señal de peligro biológico, así como otras señales de advertencia que fuesen necesarias.
- f. Deberán aplicarse medidas de protección de tipo especial para aquellos trabajadores que pudieran presentar riesgos adicionales.

5. Riesgo de almacenamiento de productos químicos

La legislación española que contempla este tipo de riesgos es el Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias.

Los riesgos derivados del almacenamiento de sustancias químicas son explosión, incendio, fugas de gases tóxicos y vapores, derrames, etc.

En la planta de producción de vinagre diseñada en el presente proyecto se almacenarán los siguientes productos químicos: el etanol que se usará en la posterior etapa de fermentación acética y el ácido acético que se encuentra presente en el producto final, que es el vinagre.

Tanto el etanol como el ácido acético son sustancias inflamables, por lo que habrá que aplicar las medidas que dicta la instrucción técnica complementaria MIE-APQ 1: Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.

Acudiendo a dicha instrucción técnica complementaria (ITC), los recipientes que contengan este tipo de sustancias deberán contemplar una serie de medidas de seguridad que se describirán en el presente capítulo.

Las sustancias inflamables se clasifican según su punto de inflamación y según su presión absoluta de vapor, por lo que se tiene:

- Clase A: Productos licuados cuya presión absoluta de vapor a 15°C sea superior a 1 bar.

Según la temperatura a que se los almacena pueden ser considerados como:

- a. Subclase A1: Productos de la clase A que se almacenan licuados a una temperatura inferior a 0°C.
 - b. Subclase A2: Productos de la clase A que se almacenan licuados en otras condiciones.
- Clase B: Productos cuyo punto de inflamación es inferior a 55°C y no están comprendidos en la clase A. Según su punto de inflamación pueden ser considerados como:
 - a. Subclase B1: Productos de la clase B cuyo punto de inflamación es inferior a 38°C.
 - b. Subclase B2: Productos de la clase B cuyo punto de inflamación es igual o superior a 38°C e inferior a 55°C.
- Clase C: Productos cuyo punto de inflamación está comprendido entre 55°C y 100°C.
- Clase D: Productos cuyo punto de inflamación es superior a 100°C.

Tanto el etanol como el ácido acético tienen una concentración muy baja (aproximadamente 10%), por lo que la temperatura a la que se inflaman es elevada (entre 40°C y 50°C). Se encuentran dentro de la Clase B, concretamente en la Subclase B2: Productos de la clase B cuyo punto de inflamación es igual o superior a 38°C e inferior a 55°C.

Las instalaciones, equipos y sus componentes destinados a la protección contra incendios se ajustarán a lo establecido en el Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios.

Los tanques de almacenamiento que contengan en su interior líquidos inflamables de clase B y se sitúen dentro de edificios cerrados deberán estar protegidos por sistemas fijos, bien de agua pulverizada, de espuma, de polvo u otro agente efectivo. Estos tipos de sistemas pueden ser manuales, siempre y cuando exista durante 24 horas personal entrenado en su puesta en funcionamiento.

Como medidas para este tipo de sustancias se encuentran las siguientes:

- Protección con agua. La red de agua tendrá varias tomas para incendios, se asegurará un caudal de 24 metros cúbicos por hora durante al menos una hora y una presión dinámica del agua en la punta de la lanza de cómo mínimo 3,5 bar. Los suministros de agua para la red exclusiva contra incendios podrán proceder de:
 - ◆ Fuentes inagotables naturales o artificiales.
 - ◆ Recipientes a presión o almacenamientos elevados.
 - ◆ Recipientes para alimentación de un equipo de bombeo.
- Protección con espuma. Para los tanques de techo fijo deberá suministrarse un caudal mínimo de 4 litros por minuto y metro cuadrado de superficie. Cuando se trata de techos flotantes, el caudal mínimo de espumante debe ser de 6,5 litros por minuto y metro cuadrado de superficie. Los tiempos de aplicación serán, para productos de subclase B2 y techo fijo, de 30 minutos. Para los tanques de techo flotante, el tiempo mínimo de aplicación será de 20 minutos.
- Incorporación de sistemas de venteo para prevenir la deformación del tanque como consecuencia de llenados, vaciados o cambios de

temperatura ambiente. Todos los venteos terminarán fuera de los edificios.

- El tanque dispondrá de venteos de emergencia de manera que permita aliviar el exceso de presión interna causado por un fuego exterior. Es recomendable el uso de techos flotantes.
- Este tipo de tanque estará construido dentro de un edificio (nave industrial), por lo que éste estará construido de manera que el área de almacenamiento y las paredes colindantes tengan una resistencia al fuego RF-90, como mínimo. Las paredes que limiten con áreas de proceso, zonas de riesgo o propiedades ajenas deberán tener una resistencia al fuego RF-120, como mínimo.
- La disposición de los tanques no entorpecerá las salidas normales ni las de emergencia, tampoco constituirán un obstáculo para el acceso a equipos o áreas destinados a la seguridad.
- Los tanques se situarán en cubetos estancos para poder recoger los posibles derrames.
- En todos los accesos a los cubetos deberá haber extintores de clase adecuada al riesgo. Los extintores se encontrarán ubicados de manera que no haya que recorrer más de 15 metros desde el área protegida para poder alcanzarlos. Generalmente serán de polvo, portátiles o sobre ruedas. En los lugares de la planta donde pueda existir un riesgo eléctrico, se utilizarán extintores de dióxido de carbono.
- La distancia de seguridad entre tanques de almacenamiento que contengan este tipo de sustancias inflamables (tipo B) no podrán ser inferiores a 1,5 metros. Por lo general la distancia mínima es $0,5 \cdot D$, siendo D el diámetro del mayor de los tanques. El límite de distancia mínima podrá reducirse a 1 metro para productos de la clase B, cuando la capacidad de los tanques sea inferior a 50 metros cúbicos.

- Brigada de lucha contra incendios propia (formada por personal especialmente adiestrado en la protección contra incendios mediante formación adecuada, periódica y demostrable) incluyendo los medios adecuados, que deben determinarse específicamente, y un plan de autoprotección, así como una coordinación adecuada con un servicio de bomberos.
- Instalación de detectores automáticos fijos que tengan alarma, para poder alertar de la presencia de mezclas explosivas en la zona circundante a la instalación.

Existen otro tipo de medidas, pero estas ya no son aplicables a sustancias almacenadas de subclase B2.

Además de saber que tanto el etanol como el ácido acético son sustancias inflamables, este último presenta carácter corrosivo, por lo que serán aplicable las medidas de seguridad que dicta la instrucción técnica complementaria MIE-APQ-6: Almacenamiento de líquidos corrosivos.

Los productos corrosivos pueden clasificarse, según esta instrucción técnica complementaria, en tres tipos:

1. Clase (A): se incluyen en este grupo las sustancias muy corrosivas, las que provocan una necrosis en el tejido cutáneo en el lugar de aplicación por un período de 3 minutos como máximo.
2. Clase (B): sustancias corrosivas que provocan necrosis sobre la piel en un período comprendido entre 3 y 60 minutos como máximo.
3. Clase (C): sustancias que tienen un grado menor de corrosividad. Producen una necrosis en la piel durante el período de 1 hora a 4 horas como máximo. También pertenecen a este grupo los productos no peligrosos para los tejidos cutáneos, pero que son corrosivos para el acero al carbono o el aluminio.

El ácido acético presente en el vinagre se encuentra en pequeña cantidad, por lo que no supondría un riesgo para la piel, por tanto se incluiría dentro de la clase (C).

En la mencionada instrucción técnica complementaria se recogen varios aspectos relacionados con las condiciones generales de almacenamiento:

- Instalación de sistemas de venteo para poder prevenir la presión interna, de esta manera se evita la deformación del techo o de las paredes del tanque como consecuencia de las variaciones de presión producidas por efecto de los llenados, vaciados o cambios de temperatura. Las salidas de este sistema se encontrarán alejadas de las zonas de operación y lugares de circulación donde los trabajadores pueden verse expuestos. Además, deberán protegerse adecuadamente para evitar fugas de líquidos y vapores.
- Las paredes del recipiente y las tuberías que conectan con este se protegerán de la corrosión exterior usando pinturas especiales o empleando materiales resistentes a la corrosión.
- La distancia mínima de seguridad será de 1 metro como mínimo de manera que se garantice un buen acceso a los recipientes.
- La superficie sobre la que descansarán este tipo de tanques con fondo plano, deberá quedar a 30 centímetros sobre el suelo y deberá ser impermeable al producto que va a contener, así, las posibles fugas que pudieran generarse, saldrían al exterior.
- Los tanques de almacenamiento fijos que contengan líquidos corrosivos y que se encuentren tanto en el exterior como en el interior de edificios deberán disponer de un cubeto de retención, que podrá ser común a varios recipientes. El fondo del cubeto tendrá una pendiente mínima del 1%, de manera que el producto que pueda haberse derramado se recoja rápidamente y se trate posteriormente. La capacidad útil del cubeto será, como mínimo, igual a la capacidad del recipiente. Deberán existir accesos normales y de emergencias, señalizados, con un mínimo de dos

en total y en número de manera que no se tenga que recorrer una distancia mayor a 25 metros hasta alcanzar un acceso desde dentro del cubeto.

- Se colocarán señales que sean visibles que indiquen de manera clara la presencia de líquidos corrosivos.
- Se procederá a la prevención de derrames de líquido corrosivo por un posible rebose. Se evitará en todo momento que no haya sobrellenado del recipiente instalando indicadores de nivel y alarmas.
- El almacenamiento de vinagre estará convenientemente iluminado.
- Se instalarán duchas y lavaojos de emergencia en zonas donde no presenten obstáculo alguno debiendo estar bien señalizados. Estos no se encontrarán a más de 10 metros de los puestos de trabajo.

13.1.1. Legislación en materia de Seguridad

A continuación se expondrá la legislación que se aplicará en el proceso diseñado en el presente proyecto. Dicha legislación se incluye dentro de dos materias nombradas con anterioridad:

- Seguridad en el trabajo
- Higiene en el trabajo

Así pues, se aplicará la siguiente normativa:

- ◆ Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- ◆ Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.
- ◆ Real Decreto 1955/1978, de 12 de mayo, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social.

- ◆ Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos a Presión.
- ◆ Real Decreto 400/1996, de 1 de marzo, por el que se dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 94/9/CE, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- ◆ Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios.
- ◆ Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales.
- ◆ Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- ◆ Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- ◆ Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de seguridad y salud de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- ◆ Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- ◆ Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes.
- ◆ Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus instrucciones técnicas complementarias.

- ◆ Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- ◆ Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- ◆ Norma UNE 1063:2000. Caracterización de tuberías según la materia de paso.

13.1.2. Legislación en materia de Higiene en el Trabajo

- ◆ Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- ◆ Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- ◆ Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.

13.2. Medio Ambiente

El medio ambiente es un sistema formado por elementos naturales y artificiales que están interrelacionados y que son modificados por la acción humana. Se trata del entorno que condiciona la forma de vida de la sociedad y que incluye valores naturales, sociales y culturales que existen en un lugar y momento determinado.

Los seres vivos, el suelo, el agua, el aire, los objetos físicos fabricados por el hombre y los elementos simbólicos como las tradiciones, componen el medio ambiente.

La conservación del medio ambiente es imprescindible para la vida sostenible de las generaciones actuales y venideras. Incluye factores físicos, biológicos y socioeconómicos.

13.2.1. Emisiones a la atmósfera

En gran parte de la actividad industrial se generan humos y gases que son liberados a la atmósfera.

En el proceso diseñado se generan gases en los fermentadores encargados de producir etanol, emitiendo dióxido de carbono. Este se ha generado por la propia reacción química, en presencia de las levaduras, que tiene lugar dentro de los fermentadores.

13.2.2. Gestión de residuos

En el proceso descrito en el presente proyecto se generan dos tipos de residuos: residuos sólidos y residuos líquidos.

Como residuos sólidos se encuentran las tortas formadas en los filtros que se encuentran a la salida de los fermentadores alcohólicos, que son los encargados de eliminar las levaduras presentes en el etanol formado.

Estas levaduras pueden aprovecharse en otros ámbitos y en diversas actividades como las que se describen a continuación:

- a. *Aprovechamiento en la elaboración de abonos orgánicos fermentados. Tipo Bocashi.* El compostaje o “composting” es un proceso biológico aeróbico, donde los microorganismos actúan sobre la materia biodegradable (restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos), obteniéndose el “compost”, que se trata de un abono de muy buena calidad usado en la agricultura. El compost es un nutriente para el suelo que mejora la estructura y ayuda a reducir la erosión y la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas. El compost mejora las propiedades físicas del suelo, aumentando su porosidad y permeabilidad además de aumentar su capacidad de retención de agua, obteniéndose un suelo más esponjoso. Mejora también sus propiedades

químicas, añadiendo macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. La actividad biológica del suelo se ve favorecida ya que actúa como soporte y alimento de los microorganismos presentes, contribuyendo a su mineralización.

- b. *Aprovechamiento para alimentación animal.* La levadura es una muy buena fuente de proteínas de gran valor biológico y digestibilidad, y se utiliza habitualmente por las vitaminas de complejo B que contiene, se usa también como fuente de factores de crecimiento no identificados de importancia para la producción avícola. La levadura se incluye normalmente a niveles de 2-5% en las raciones para los cerdos y aves de corral, pero, si el precio de la levadura fuese bajo, puede representar hasta el 80% de la porción de proteína de origen animal de la ración para cerdos y aves de corral, siempre y cuando se añada más calcio. Los terneros reciben alrededor de 200 gramos diarios de levadura, lo que hace que aumente el contenido graso de la leche de vaca.

Este aprovechamiento de la levadura sobrante supone una gestión de proyectos ambientales, integrando y dando participación a distintas instituciones interesadas en este tipo de trabajos.

En cuanto a las bacterias acéticas que forman parte del residuo generado en la etapa de filtración tangencial, se procederá a su traslado a una empresa especializada en este tipo de gestión.

No tienen lugar en el proceso de producción los residuos líquidos directos, aunque se llevarán a cabo medidas adecuadas para evitar posibles vertidos.

➤ **Evaluación del Impacto Ambiental (EIA)**

Se trata de un procedimiento jurídico-administrativo de recogida de información, análisis y predicción, destinado a anticipar, corregir y prevenir los posibles efectos directos e indirectos que la ejecución de una determinada obra o proyecto causa sobre el medio ambiente, permitiendo a la administración adoptar las medidas adecuadas a su protección.

Permite estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto puede causar sobre el medio ambiente.

Se someterán a Evaluación de Impacto Ambiental cualquier actuación, pública o privada, que consistan en la realización de obras, instalaciones, planes y programas o cualquier actuación comprendida en la Ley 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero.

Obligatoriamente, se someterán a Evaluación de Impacto Ambiental los siguientes grupos:

- Grupo 1. Agricultura, silvicultura, acuicultura y ganadería.
- Grupo 2. Industria extractiva.
- Grupo 3. Industria energética.
- Grupo 4. Industria siderúrgica y del mineral. Producción y elaboración de metales.
- Grupo 5. Industria química, petroquímica, textil y papelera.
- Grupo 6. Proyectos de infraestructuras.
- Grupo 7. Proyectos de ingeniería hidráulica y de gestión del agua.
- Grupo 8. Proyectos de tratamiento y gestión de residuos.

Además, existen otros grupos que deberán someterse a evaluación del impacto ambiental si así lo decide el órgano ambiental en cada caso. Estos son:

- Grupo 1. Agricultura, silvicultura, acuicultura y ganadería (proyectos no incluidos en el Anexo I de la Ley 6/2010).
- **Grupo 2. Industrias de productos alimenticios.**

- a. Instalaciones industriales para la elaboración de grasas y aceites vegetales y animales, siempre que en la instalación se den de forma simultánea las circunstancias siguientes:
 - 1. Que esté situada fuera de polígonos industriales.
 - 2. Que se encuentre a menos de 500 metros de una zona residencial.
 - 3. Que ocupe una superficie de, al menos, 1 hectárea.
- b. Instalaciones industriales para el envasado y enlatado de productos animales y vegetales. Instalaciones cuya materia prima sea animal, exceptuada la leche, con una capacidad de producción superior a 75 toneladas por día de productos acabados, e instalaciones cuya materia prima sea vegetal con una capacidad de producción superior a 300 toneladas por día de productos acabados (valores medios trimestrales).
- c. Instalaciones industriales para la fabricación de productos lácteos, siempre que la instalación reciba una cantidad de leche superior a 200 toneladas por día (valor medio anual).
- d. Instalaciones industriales para la fabricación de cerveza, malta y similares, siempre que en la instalación se den de forma simultánea las circunstancias siguientes:
 - 1. Que esté situada fuera de polígonos industriales.
 - 2. Que se encuentre a menos de 500 metros de una zona residencial.
 - 3. Que ocupe una superficie de, al menos, 1 hectárea.
- e. Instalaciones industriales para la elaboración de confituras y almíbares, siempre que en la instalación se den de forma simultánea las circunstancias siguientes:

1. Que esté situada fuera de polígonos industriales.
 2. Que se encuentre a menos de 500 metros de una zona residencial.
 3. Que ocupe una superficie de, al menos, 1 hectárea.
- f. Instalaciones para el sacrificio y/o despiece de animales con una capacidad de producción de canales superior a 50 toneladas por día.
- g. Instalaciones industriales para la fabricación de féculas, siempre que se den de forma simultánea las circunstancias siguientes:
1. Que esté situada fuera de polígonos industriales.
 2. Que se encuentre a menos de 500 metros de una zona residencial.
 3. Que ocupe una superficie de, al menos, 1 hectárea.
- h. Instalaciones industriales para la fabricación de harina de pescado y aceite de pescado, siempre que en la instalación se den de forma simultánea las circunstancias siguientes:
1. Que esté situada fuera de polígonos industriales.
 2. Que se encuentre a menos de 500 metros de una zona residencial.
 3. Que ocupe una superficie de, al menos, 1 hectárea.
- i. Azucareras con una capacidad de tratamiento de materia prima superior a las 300 toneladas diarias.
- Grupo 3. Industria extractiva (proyectos no incluidos en el Anexo I de la Ley 6/2010).
- Grupo 4. Industria energética (proyectos no incluidos en el Anexo I de la Ley 6/2010).

- Grupo 5. Industria siderúrgica y del mineral. Producción y elaboración de metales (proyectos no incluidos en el Anexo I de la Ley 6/2010).
- Grupo 6. Industria química, petroquímica, textil y papelera (proyectos no incluidos en el Anexo I de la Ley 6/2010).
- Grupo 7. Proyectos de infraestructuras (proyectos no incluidos en el Anexo I de la Ley 6/2010).
- Grupo 8. Proyectos de ingeniería hidráulica y de gestión del agua (proyectos no incluidos en el Anexo I de la Ley 6/2010).

CAPÍTULO 14: MANTENIMIENTO

14.1. Introducción

El mantenimiento puede definirse de diversas maneras, dependiendo del enfoque que quiera dársele en cada caso. Según Santiago García Garrido, en su obra “Organización y Gestión Integral del Mantenimiento”, lo define como:

“El conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento”.

El mantenimiento supone, actualmente, una necesidad en la industria ya que la ausencia o precariedad de este puede conducir a pérdidas económicas, accidentes, contaminación del Medio Ambiente, afecta también al clima laboral, etc.

Por el contrario, el que exista un buen mantenimiento conlleva a que se desarrolle la capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad, es por ello que la industria necesita un mantenimiento eficaz tanto en las unidades de proceso como en las instalaciones.

La necesidad de asegurar, por parte de la industria, el correcto funcionamiento de las distintas unidades de proceso además de poder obtener de ellas la mayor disponibilidad, ha originado una evolución en el mantenimiento industrial con el paso del tiempo, pasando de métodos estáticos (a la espera de la avería) a métodos dinámicos (seguimiento funcional y control multiparamétrico) con la finalidad de predecir las averías en una etapa incipiente e incluso llegar a determinar la causa del problema y, por tanto, procurar erradicarla.

14.2. Funciones del mantenimiento

Finalizada la construcción de la planta de producción de vinagre, se deberá tener en cuenta aspectos relativos al mantenimiento de todas las unidades que la

componen, con la finalidad de procurar el buen funcionamiento de las mismas y alargar la vida útil de estas.

Las funciones básicas del mantenimiento que van a considerarse son (Gómez de León F.C., 1998):

- Mantener los equipos e instalaciones en condiciones operativas eficaces y seguras.
- Efectuar un control del estado de los equipos así como de su disponibilidad.
- Realizar los estudios necesarios para reducir el número de averías imprevistas.
- En función de los datos históricos disponibles, efectuar una previsión de los repuestos de almacén necesarios.
- Intervenir en los proyectos de modificación del diseño de equipos e instalaciones.
- Llevar a cabo aquellas tareas que implican la modificación del diseño de equipos e instalaciones.
- Instalación de nuevo equipo.
- Asesorar a los mandos de producción.
- Velar por el correcto suministro y distribución de energía.
- Realizar el seguimiento de los costes de mantenimiento.
- Preservación de locales, incluyendo la protección contra incendios.
- Gestión de almacenes.
- Tareas de vigilancia.
- Gestión de residuos y desechos.

- Establecimiento y administración del servicio de limpieza.
- Proveer el adecuado equipamiento al personal de la instalación.

El mantenimiento de la planta de producción de vinagre se llevará a cabo antes de la puesta en marcha mediante inspecciones y pruebas de los distintos equipos que tiene la instalación. Se tendrá que emitir un informe fechado que indique dicha inspección.

Una vez puesto en marcha, el mantenimiento se planificará atendiendo a las componentes correctiva, preventiva y predictiva.

14.3. Tipos de mantenimiento

Pueden establecerse distintas clasificaciones del mantenimiento aunque los tipos de mantenimiento más aceptados son:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento productivo total.

A continuación se describirán cada uno de ellos:

➤ Mantenimiento correctivo

Sólo se interviene cuando el equipo falla. A este tipo de mantenimiento se le llama también “a rotura”. Se trata de una actitud pasiva frente a la evolución del estado de los equipos, es decir, se actúa cuando aparece la avería.

No requiere de ningún tipo de planificación, aunque el optar por este tipo de mantenimiento supone asumir algunos inconvenientes que pueden darse, como:

- Averías que se producen imprevistamente, ocasionando trastornos en la producción (pérdidas de tiempo en el reemplazamiento de equipos, paradas en la producción, etc.).

- Reparación costosa del equipo afectado por la avería imprevista.
- Averías inoportunas ocasionando gran pérdida de tiempo.
- Al tratarse de averías que no se esperan, estas podrían venir acompañadas de algún tipo de siniestro, ocasionando consecuencias negativas en la seguridad de los trabajadores o de las instalaciones.

➤ **Mantenimiento preventivo**

Este tipo de mantenimiento trata de disminuir o evitar, en lo posible, la reparación de un equipo o instalación mediante inspecciones periódicas y la reposición de los elementos deteriorados, lo que se conoce como “las tres erres del mantenimiento” (Gómez de León. F.C., 1998).

El éxito de este tipo de mantenimiento depende en gran medida de la correcta elección del periodo de inspección. Un periodo muy largo conlleva el peligro de la aparición de fallos entre dos inspecciones consecutivas, en tanto que un periodo corto puede encarecer considerablemente el proceso productivo. El equilibrio se encuentra como solución óptima entre los costes procedentes de las inspecciones y los derivados de las averías imprevistas.

El principal inconveniente que tiene utilizar este tipo de mantenimiento es el coste de las inspecciones. Desmontar y revisar una máquina que está funcionando correctamente o la sustitución de elementos (lubricantes, rodamientos, etc.) que no se encuentran en mal estado conlleva un coste, pareciendo innecesario.

Por otro lado, sea cual sea el periodo de inspección que se haya fijado, no se elimina por completo la posibilidad de que aparezca una avería imprevista, aunque cuanto menor sea este periodo, menor es la probabilidad de que ocurran.

➤ **Mantenimiento predictivo**

Se le conoce también como “mantenimiento según estado o según condición” y se basa en conocer el estado de los equipos en cualquier instante. De esta manera es posible reemplazar los elementos cuando no estén en buenas condiciones operativas,

suprimiendo las paradas por inspección innecesarias y, evitar las averías imprevistas mediante la detección de cualquier anomalía y el seguimiento de su posible evolución.

La aplicación del mantenimiento predictivo se basa en:

- La existencia de parámetros funcionales indicadores del estado del equipo.
- La vigilancia continua de los equipos

Existen muchas ventajas en este tipo de mantenimiento, aunque las más importantes se citan a continuación (Gómez de León. F.C., 1998):

- Detectar e identificar precozmente los defectos que pudieran aparecer, sin necesidad de parar y desmontar la máquina.
- Observar aquellos defectos que solo se manifiestan sobre la máquina en funcionamiento.
- Seguir la evolución del defecto hasta que se estime que es peligroso.
- Elaborar un historial de funcionamiento de la máquina, a través de la evolución de sus parámetros funcionales y su relación con algún defecto significativo: parada, revisión, lubricación, reemplazo de algún elemento, cambio en las condiciones de funcionamiento, etc.
- Programar la parada, para la corrección del defecto detectado, haciéndola coincidir con un tiempo muerto o una parada rutinaria del proceso de producción.
- Programar el suministro de repuestos y la mano de obra.
- Reducir el tiempo de reparación, ya que previamente se ha identificado el origen de la avería y los elementos afectados por la misma.
- Aislar las causas de los posibles fallos repetitivos y procurar su erradicación.

- Proporcionar criterios para una selección satisfactoria de las mejores condiciones de operación de la máquina.
- Aumentar la seguridad de funcionamiento de la máquina, y en general de toda la instalación.

➤ **Mantenimiento productivo total (MPT)**

Intenta recoger y aplicar las tendencias más recientes en cuando a la planificación participativa integral de todas las tareas del mantenimiento, incluyendo las técnicas utilizadas y su gestión, la administración del mantenimiento, el control de los distintos índices asociados al funcionamiento de los equipos y al conjunto de las instalaciones (fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad), la calidad de la producción y, finalmente, su repercusión en la economía de la empresa. Por tanto, este tipo de mantenimiento implica a todos los estamentos y niveles de la producción, con una estructura de planificación jerárquica que, partiendo de los objetivos últimos de la explotación, vaya desglosándose en tareas concretas hasta llegar al operador y a las actuaciones específicas sobre cada máquina y componente de las instalaciones.

Mediante el mantenimiento productivo total se intenta, pues, abarcar una visión más amplia del mantenimiento, que recoja todos aquellos aspectos que intervienen de algún modo en la utilización de los equipos e instalaciones, y por tanto en la capacidad de producción (Gómez de León. F. C., 1998).

14.4. Política de mantenimiento

La política de mantenimiento define los objetivos técnicos y económicos específicos del servicio de mantenimiento, relativos a su responsabilidad sobre los equipos y encaminado a conseguir los objetivos generales de la empresa.

Supone la aceptación de unos compromisos que afectan a los factores humanos, técnicos y económicos. Los objetivos operacionales, económicos, sociales y de organización de mantenimiento que van a seguirse son:

- Llevar a cabo una inspección sistemática de todas las instalaciones, con intervalos de control para detectar cualquier desgaste o rotura, manteniendo los registros adecuados.
- Mantener permanentemente los equipos e instalaciones en su mejor estado, para así evitar los tiempos de parada que aumentan los costes.
- Efectuar las reparaciones de emergencia lo más pronto posible, empleando métodos sencillos de reparación.
- Prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones al máximo.
- Proyectar mejoras en la maquinaria y equipos para disminuir las posibilidades de daño y rotura.
- Controlar los costes directos del mantenimiento mediante el uso correcto y eficaz del tiempo, materiales, mano de obra y servicios.
- Formar de manera continua a los profesionales del mantenimiento.

14.5. Plan de mantenimiento

En el desarrollo de un plan de mantenimiento deben realizarse una serie de etapas. La primera consiste en realizar una lista con los equipos existentes en la planta.

Hay que situar a cada equipo, conocer en qué parte de la planta se encuentra, y finalmente descomponerlos en elementos.

Habrà que realizar una codificación, que afecta a cada uno de los equipos y también a sus respectivos elementos. Dicha codificación facilita la localización de los equipos en la planta, permite la realización de cálculos estadísticos de fallos, no solamente de los equipos, sino también de sus componentes.

Por último, habrá que jerarquizar los equipos por su importancia dentro de la planta. De esta manera, se destinarán las mayores partidas del mantenimiento a la conservación de los equipos imprescindibles, seguidamente irán los equipos importantes, a continuación los poco importantes y finalmente los prescindibles.

Siguiendo este criterio, los equipos se clasificarán dentro de las categorías A, B o C:

- Categoría A: dentro de esta categoría se incluyen los equipos esenciales para la producción. Su fallo provoca la parada o la pérdida inmediata de la producción, o afectan seriamente a las condiciones de seguridad de la planta. En la línea de producción de vinagre diseñada en el presente proyecto, se incluyen en esta categoría los siguientes equipos:
 - Fermentadores alcohólicos.
 - Fermentadores acéticos.
 - Aireador/agitador Venturi Jet.
- Categoría B: se incluyen en esta categoría los equipos importantes para la producción aunque su fallo no provoca efectos inmediatos en esta. La persistencia del fallo podría resultar perjudicial para la producción o para la seguridad de la instalación. Los equipos que se encuentran dentro de esta categoría son:
 - Torre de refrigeración.
 - Tanques pulmón.
 - Filtros tangenciales.
 - Filtros rotatorios a vacío.
- Categoría C: resto de equipos. Se incluyen:
 - Bombas hidráulicas.
 - Tanques de almacenamiento.

14.5.1. Mantenimiento de la planta

El mantenimiento que se llevará a cabo en la planta es un equilibrio entre el mantenimiento preventivo y el mantenimiento predictivo de manera que se obtenga

un funcionamiento óptimo de la instalación, no obstante también se utilizará el mantenimiento correctivo ante posibles averías. Dicho equilibrio constituye el mantenimiento planificado.

El mantenimiento predictivo se aplicará a todos los equipos que componen la línea de producción.

El mantenimiento preventivo que se llevará a cabo en la planta de producción de vinagre será de tres tipos:

- Mantenimiento preventivo programado: realización de ajustes, inspecciones y sustituciones periódicas de los equipos.
- Mantenimiento preventivo en paradas: inspección de aquellos equipos en los que se ha detectado un deterioro incipiente que requiere una inspección en detalle.
- Mantenimiento preventivo legal: consiste en las inspecciones exigidas por la ley.

No obstante, en todo momento se seguirán las recomendaciones de los fabricantes y deberá establecerse un cuadro de mantenimiento que deberá cumplirse con rigidez.

14.6. Costes de mantenimiento

Los gastos necesarios para poner en marcha un plan de mantenimiento pueden dividirse en las siguientes partidas (Gómez de León. F.C., 1998):

- Coste de la instrumentación, instalaciones y equipamiento necesario.
- Coste de las modificaciones pertinentes en los equipos y en la instalación existente.
- Coste del personal encargado de realizar la instalación del plan.
- Coste de la integración.

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

- Preparación y adiestramiento del personal encargado de ejecutar el plan.
- Coste del personal destinado a ejecutar el plan.
- Coste del mantenimiento del plan.

BIBLIOGRAFÍA

➤ **Libros, artículos y normativa consultados:**

- “Biotecnología de la Fermentación” Owen P. Ward
- “Microbiología del Vino” Alfonso V. Carrascosa, Rosario Muñoz, Ramón González
- “Fundamentos de Bioquímica Estructural” Amando Garrido Pertierra, José M^a Teijón Rivera, Dolores Blanco Gaitán, Carmen Villaverde Gutiérrez, Carlos Mendoza Oltras, Jesús Ramírez Rodrigo.
- “Desarrollo de un modelo cinético aplicado a la fermentación alcohólica y estudio del efecto global de la temperatura” Tesis Doctoral del Profesor Ildefonso Caro Pina, Universidad de Cádiz, 1989.
- “Control de los procesos de elaboración, calidad y trazabilidad del vinagre de Jerez” Tesis Doctoral de Enrique Durán Guerrero, Universidad de Cádiz, 2008.
- “El vinagre de vino” Concepción Llaguno y M^a Carmen Polo. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
- “Optimum operating conditions in closed-system industrial acetifiers (semi-continuous operation): a study by computer simulation” Manuel Macías, Ildefonso Caro, Domingo Cantero.
- “A kinetic model for growth of *Acetobacter aceti* in submerged culture” L.E. Romero, J.M. Gómez, I. Caro, D. Cantero.
- Real Decreto 661/2012, de 13 de abril, por el que se establece la norma de calidad para la elaboración y comercialización de los vinagres.
- Especificación CEPISA ESP-1101-1 “Especificación para el diseño de recipientes a presión”.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code 2013, Section VIII “Rules for construction of pressure vessels”, Division 1.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code 2013, Section II “Materials”, Part D “Properties (Metric)”.

- API (American Petroleum Institute) 650 Standard: “Welded Steel Tanks for Oil Storage”.
- ASME B31.3. “Tuberías de Proceso”. Código ASME para tuberías a presión.
- “Microbiología Industrial” Alicia Hernández, 2003.
- “Biotecnología: Manual de Microbiología Industrial” Wulf Crueger, Anneliese Crueger.
- “Microbiología Industrial: Los Microorganismos de Interés Industrial” J.Y. Leveau, M. Bouix.
- “Tecnología del Mantenimiento Industrial” Gómez de León, 1998.
- “Transferencia de Calor” Hollman Mills J., 1998.
- “Fundamentos de Transferencia de Calor” Incropera F.P., DeWitt D.P., 1999.
- “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química” McCabe W.L., Smith J.C., Harriott P., 2001.
- “Manual de Recipientes a Presión. Diseño y Cálculo.” Megyesy, E.F., 2001.
- “Perry’s Chemical Engineers’ Handbook 7 edition” Robert H. Perry, Don W. Green, James O. Maloney.
- “Production of Ethanol by Fed-Batch Fermentation” Ngoh Gek Cheng, Masitah Hasan, Andri Chahyo Kumoro, Chew Fui Ling, Margaret Tham. University of Malaysia, 2009.
- “Estudio de la Ultrafiltración de Proteínas Modelo con Membranas Cerámicas” Tesis Doctoral, Universidad de Granada, Rubén Ibáñez Lorente, 2007.
- “La filtración Tangencial en el Tratamiento de Vinos” Tesis Doctoral, Universitat de Lleida, Margarita Vilavella Araujo, Albert Ibarz Ribas, 1997.
- “Alternativas de Aprovechamiento de la Crema de Levadura Reproducida y Sobrante en el Área de Fermentación de la Industria Licorera de Caldas” Iliana Y. Murillo Mosquera, Universidad Nacional de Colombia.
- “Handbook of Industrial Chemistry” Mohammad Farhat Ali, Bassam M. El Ali, James G. Speight. McGraw-Hill, 2005.
- “Estrategias en Ingeniería de Procesos” Rudd D.F., Watson Ch.C., 1976.
- “Organización y Gestión Integral de Mantenimiento” Santiago García Garrido, 2003.

- “Economía de los Procesos Químicos” Happel J. & Jordan D.G., 1981.
- “Ingeniería de las Reacciones Químicas” Octave Levenspiel, 2006.
- “Plant Design and Economics for Chemical Engineers” Peters and Timmerhaus, 1991.
- Apuntes de la asignatura “Reactores Biológicos y Bioquímicos” D. Cantero Moreno, M. Ramírez Muñoz, J.M. Gómez Montes de Oca.
- Apuntes de la asignatura “Operaciones Básicas de Flujo de Fluidos y Transmisión de Calor” R. Martín Minchero, M.J. Muñoz Cueto, A. Blandino.
- Apuntes de la asignatura “Control e Instrumentación de Procesos” L.E. Romero.
- “Wine Production: Vine to Bottle” Keith Grainger, Hazel Tattersall, 2005.
- “Diseño de Procesos en Ingeniería Química” Arturo Jiménez Gutiérrez, 2003.
- “Microbiology and Technology of Fermented Foods” Robert W. Hutkins.
- “Ingeniería Química 3: Flujo de Fluidos” Enrique Costa Novella.
- “Bombas: Selección, uso y mantenimiento” Kenneth J.

➤ **Páginas web consultadas:**

- Diputación de Cádiz (www.dipucadiz.es)
- Instituto Nacional de Estadística (www.ine.es)
- Instituto Nacional de Meteorología (www.aemet.es)
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (www.fundaciónfedna.com)
- Compañía de Melazas (www.ciademelazas.com)
- Aguas de Jerez (www.aguasdejerez.com)
- BOE (www.boe.es)
- Noticias Jurídicas (noticias.juridicas.com)
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (www.insht.es)
- Organización Mundial de la Salud: OMS (www.who.int/es)

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Documento A: Memoria.

A.2. Anexos a la Memoria.

Facultad de Ciencias. Universidad de Cádiz.

Título de Ingeniero Químico. Proyecto Final de Carrera.

Almudena González Alba
Diciembre, 2014

ÍNDICE

ANEXO I: CANTIDAD DE MATERIA PRIMA NECESARIA Y BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO	139
I.1. Cantidad de melazas concentradas y de agua necesarias	139
I.2. Balance de materia del proceso	140
I.3. Producción anual	142
ANEXO II: DISEÑO MECÁNICO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO	144
II.1. Introducción	144
II.2. Dimensiones características	144
II.2.1. Tanque de almacenamiento de melaza concentrada	145
II.2.1.1. Capacidad	145
II.2.1.2. Diámetro y altura nominales	146
II.2.1.3. Tabla resumen	147
II.2.2. Tanque de almacenamiento de melaza diluida	147
II.2.2.1. Capacidad	147
II.2.2.2. Diámetro y altura nominales	148
II.2.2.3. Tabla resumen	148
II.2.3. Tanque de almacenamiento de vinagre	149
II.2.3.1. Capacidad	149
II.2.3.2. Diámetro y altura nominales	150
II.2.3.3. Tabla resumen	150
II.2.4. Tanque de almacenamiento de etanol y tanques pulmón	150
II.2.4.1. Capacidad	150
II.2.4.2. Diámetro y altura nominales	151
II.2.4.3. Tabla resumen	151
II.2.5. Tabla resumen de las dimensiones características de los tanques	152
II.3. Diseño mecánico de los tanques	152
II.3.1. Espesores de los cascos	152

II.3.1.1. Espesores de los cascos contruidos en acero al carbono	153
II.3.1.2. Espesores de los cascos contruidos en acero inoxidable	155
II.3.2. Espesores de los fondos	157
II.3.3. Espesores de los techos.....	158
II.3.3.1. Techo fijo cónico autosoportado	158
II.3.3.2. Techo interior flotante	159
II.4. Construcción de los tanques de almacenamiento	160
II.5. Dimensiones y espesores finales de los tanques	160
ANEXO III: DISEÑO DE LOS FERMENTADORES	163
III.1. Introducción	163
III.2. Cálculos geométricos del tanque de fermentación.....	163
III.3. Presión de diseño, Pd.....	164
III.4. Temperatura de diseño, Td	165
III.5. Tensión máxima admisible, S	165
III.6. Eficiencia de soldadura, E	166
III.7. Espesor mínimo de la envolvente, tmin	167
III.8. Dimensiones de los cabezales y fondos.....	170
III.9. Apoyos de los fermentadores	175
III.10. Altura total del fermentador	176
III.11. Efecto del viento sobre los fermentadores.....	177
ANEXO IV: DISEÑO DE CONDUCCIONES: RED DE TUBERÍAS	183
IV.1. Diseño de la red de tuberías	183
IV.1.1. Estimación del diámetro interior de cada línea	184
IV.1.2. Determinación del diámetro exterior de la tubería	186
IV.1.3. Estimación del espesor de tubería	188
IV.1.3.1. Presión de diseño, P	188
IV.1.3.2. Temperatura de diseño, T	188
IV.1.3.3. Tensión máxima admisible, S	189
IV.1.3.4. Eficiencia de soldadura, E.....	190
IV.1.3.5. Factor de corrosión, C	190
IV.1.3.6. Factor Y	190
IV.1.3.7. Estimación del espesor comercial	191

IV.1.4. Cálculo de las pérdidas de carga en tuberías	191
IV.1.4.1. Diámetro interior real	192
IV.1.4.2. Velocidad real del fluido por la tubería.....	192
IV.1.4.3. Velocidad másica del fluido por la tubería	192
IV.1.4.4. Determinación del régimen de flujo: número de Reynolds	192
IV.1.4.5. Pérdida de carga por metro lineal de tubería	193
IV.1.4.6. Pérdidas de carga totales	193
IV.1.5. Resultados del diseño de tuberías.....	195
ANEXO V: DISEÑO DE BOMBAS	207
V.1. Introducción	207
V.2. Altura útil y potencia de la bomba	207
V.3. Cavitación y altura neta de succión positiva disponible	211
ANEXO VI: GENERACIÓN DE CALOR Y DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	214
VI.1. Calor generado en el proceso de fermentación alcohólica	214
VI.2. Calor generado en el proceso de fermentación acética	215
VI.3. Diseño del sistema de refrigeración para el proceso de fermentación acética	216
VI.3.1. Balance de energía aplicado al caldo de fermentación	218
VI.3.2. Balance de energía aplicado al agua refrigerante	218
VI.3.3. Cálculo de U_s	219
VI.3.3.1. Cálculo de h_{si}	219
VI.3.3.2. Cálculo de h_{se}	223
VI.3.3.3. Resultado de U_s	223
VI.3.4. Cálculo de U_F	224
VI.3.4.1. Cálculo de h_{Fi}	225
VI.3.4.2. Cálculo de h_{Fe}	225
VI.3.4.3. Resultado de U_F	227
VI.3.5. Estimación de los grados de libertad y selección de las variables de diseño	228
VI.3.6. Condiciones de operación	232
VI.3.7. Cálculo definitivo de los parámetros	234
ANEXO VII: SISTEMA DE AIREACIÓN.....	236
VII.1. Introducción	236
VII.2. Consumo de oxígeno	237

VII.3. Consumo máximo de oxígeno y caudal de oxígeno suministrado	238
VII.4. Consumo mensual de oxígeno	238
ANEXO VIII: MODELADO DE LOS FERMENTADORES MEDIANTE MATLAB	239
VIII.1. Introducción	239
VIII.2. Fermentación alcohólica: Modelo de Hinshelwood.....	239
VIII.3. Fermentación acética: Modelo de Monod: inhibición por sustrato, producto y oxígeno	260
ANEXO IX: TABLAS Y GRÁFICAS USADAS EN LOS CÁLCULOS	278
ANEXO X: CATÁLOGOS	292

ANEXO I: CANTIDAD DE MATERIA PRIMA NECESARIA Y BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO

I.1. Cantidad de melazas concentradas y de agua necesarias

Anteriormente, en la Memoria Descriptiva, se comentó que las melazas concentradas por sí mismas no constituyen un medio fermentable debido al alto nivel de azúcares que presentaban (50%) ya que la actividad del agua se veía muy reducida e imposibilitaba el crecimiento de microorganismos.

Por esta razón es necesario adicionar agua a las melazas, de esta manera se reduce su porcentaje en azúcares, su viscosidad y densidad, haciéndolas más manejables.

El objetivo del presente proyecto es reducir el porcentaje de azúcares (sacarosa) al 24%, y a una densidad y viscosidad equivalentes a las del agua.

Para conocer qué cantidad de agua habrá que adicionar a las melazas para poder alcanzar este porcentaje, es necesario realizar el siguiente cálculo:

$$V_{\text{melaza concentrada}} \cdot C_{\text{melaza concentrada}} = V_{\text{melaza diluida}} \cdot C_{\text{melaza diluida}} \quad [\text{Ec.I.a.}]$$

$$1 \text{ litro} \cdot 50\% = x \cdot 24\%$$

$$x = \frac{50 \cdot 1}{24} = 2,083 \text{ litros de melaza diluida}$$

$$2,083 \text{ litros}_{\text{melaza diluida}} - 1 \text{ litro}_{\text{melaza concentrada}} = 1,083 \text{ litros}_{\text{agua}}$$

$$\text{Factor de dilución} = \frac{1,083}{1} = 1,083 \xrightarrow{\text{aprox.}} 1,1$$

Por consiguiente, es necesario adicionar 1,1 litros de agua por cada litro de melaza concentrada para conseguir unas melazas diluidas al 24% en sacarosa.

I.2. Balance de materia del proceso

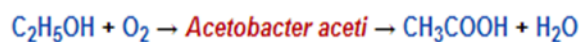
Se pretende finalmente alcanzar una concentración de ácido acético de 100 g/L mediante una fermentación acética. Se dispone de un volumen de fermentador de 12000 litros, de los cuales, 6000 litros se descargarán al finalizar cada ciclo fermentativo. Por tanto, los gramos de ácido acético que se obtienen en cada ciclo son:

$$100 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{ ácido acético} \cdot 6000 \frac{\text{L}}{\text{ciclo}} = 600000 \frac{\text{g ácido acético}}{\text{ciclo}}$$

Sabiendo que el peso molecular del ácido acético es de 60 g/mol:

$$\frac{600000 \frac{\text{g ácido acético}}{\text{ciclo}}}{60 \frac{\text{g ácido acético}}{\text{mol}}} = 10000 \frac{\text{mol ácido acético}}{\text{ciclo}}$$

Conociendo la estequiometría de la reacción, se sabe que por cada mol de etanol consumido se produce un mol de ácido acético (estequiometría 1:1):



Por lo que los moles consumidos de etanol en cada ciclo son los mismos de ácido acético hallados anteriormente: 10000 mol etanol/ciclo. Conociendo el peso molecular del etanol, que son 46,07 g/mol, se conocen los gramos por ciclo consumidos:

$$10000 \frac{\text{mol etanol}}{\text{ciclo}} \cdot 46,07 \frac{\text{g etanol}}{\text{mol etanol}} = 460700 \frac{\text{g etanol}}{\text{ciclo}}$$

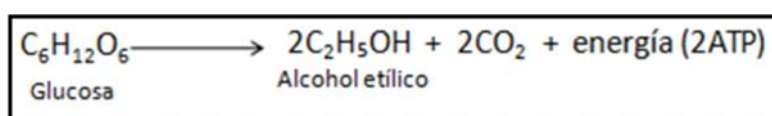
Como se verá más adelante, en el Anexo VIII, la concentración que se alcanza de etanol en cada ciclo fermentativo es de 83 g/L. Para conocer cuánto volumen se consume de etanol en cada ciclo:

$$\frac{460700 \frac{\text{g etanol}}{\text{ciclo}}}{83 \frac{\text{g etanol}}{\text{litro}}} = 5550,60 \frac{\text{L etanol}}{\text{ciclo}} = 5,6 \frac{\text{m}^3 \text{ etanol}}{\text{ciclo}}$$

El tiempo de ciclo de la fermentación acética también viene determinada en el Anexo VIII del presente proyecto, que es de 160 horas, por lo que los litros de etanol consumidos en cada hora son:

$$\frac{5550,60 \frac{L \text{ etanol}}{\text{ciclo}}}{160 \text{ horas}} = 34,69 \frac{L \text{ etanol}}{h}$$

Por otro lado, para conocer los moles y los gramos de sacarosa y glucosa que se consumen en la fermentación alcohólica, basta con conocer la estequiometría de la reacción:



Cada mol de glucosa consumido en la reacción produce dos moles de etanol (estequiometría 1:2). Por tanto, sabiendo que en cada ciclo se producen 10000 moles de etanol (los que se consumen en la fermentación acética), de glucosa será necesaria la mitad de esta cantidad, es decir, se consumen 5000 moles de glucosa por cada ciclo fermentativo.

Sabiendo que el peso molecular de la glucosa es de 180,1 g/L, se consumen 900500 g/ciclo de glucosa.

La sacarosa está compuesta por un 50% de glucosa y un 50% de fructosa. Ambos azúcares fermentan a etanol. La cantidad de sacarosa que se consumen en cada ciclo será el doble (1801000 g/ciclo sacarosa) y sabiendo que su peso molecular es de 360 g/mol, se consumen 5002,78 mol sacarosa/ciclo.

Como se comentó en el apartado anterior, se pretende obtener unas melazas con un 24% de sacarosa (240 g/L sacarosa). De este porcentaje, la mitad es glucosa, es decir, un 12% (120 g/L glucosa), por lo que las concentraciones de sacarosa y glucosa presentes en las melazas diluidas es:

$$[Sacarosa] = \frac{240 \frac{g}{L}}{360 \frac{g}{mol}} = 0,67 \frac{mol}{L}$$

$$[Glucosa] = \frac{120 \text{ g/L}}{180,1 \text{ g/mol}} = 0,67 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Conociendo esto, pueden hallarse los litros de melaza diluida que se tienen a un 24% de sacarosa y un 12% de glucosa:

$$\frac{5000 \frac{\text{mol glucosa}}{\text{L}}}{0,67 \frac{\text{mol glucosa}}{\text{L}}} = 7504,17 \frac{\text{L melaza diluida}}{\text{ciclo}} = 7,5 \frac{\text{m}^3 \text{ melaza diluida}}{\text{ciclo}}$$

Por tanto, son necesarios obtener 7,5 metros cúbicos de melaza diluida al 24% de sacarosa para poder abastecer un ciclo fermentativo (para un fermentador).

Sabiendo la cantidad de melaza diluida y conociendo el factor de dilución hallado en el apartado anterior, pueden conocerse las cantidades de melaza concentrada y de agua necesarias:

$$\frac{7,5 \frac{\text{m}^3 \text{ melaza diluida}}{\text{ciclo}}}{1 + 1,1} = 3,57 \frac{\text{m}^3 \text{ melaza concentrada}}{\text{ciclo}}$$

$$7,5 \frac{\text{m}^3 \text{ melaza diluida}}{\text{ciclo}} - 3,57 \frac{\text{m}^3 \text{ melaza concentrada}}{\text{ciclo}} = 3,93 \frac{\text{m}^3 \text{ agua}}{\text{ciclo}}$$

I.3. Producción anual

La producción anual puede hallarse mediante la siguiente expresión:

$$\text{Producción anual} = \frac{\frac{\text{horas fermentación}}{\text{año}} \frac{\text{L}}{\text{ciclo}}}{\frac{\text{h}}{\text{ciclo}}} \quad [\text{Ec. I.3.a.}]$$

Sabiendo que:

Vreactor ciclo(L)	6000
t ciclo(h)	160
Días de trabajo/año	347
horas trabajo/día	24
L/ciclo etanol	5550,6

Puede hallarse finalmente la producción anual, siendo:

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Producción anual (1 reactor) L/año	312300
Producción anual (4 reactores) L/año	1249200

Obteniéndose una producción anual de aproximadamente 1,25 millones de litros de vinagre.

ANEXO II: DISEÑO MECÁNICO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO

II.1. Introducción

En el presente anexo se procederá a describir el procedimiento de dimensionamiento de los tanques de almacenamiento cilíndricos presentes en la planta de producción de vinagre diseñada:

- Tanque de almacenamiento de melaza concentrada (suministrada).
- Tanque de almacenamiento de melaza diluida.
- Tanque de almacenamiento de etanol.
- Tanque de almacenamiento de vinagre.
- Tanque pulmón 1 (etanol).
- Tanque pulmón 2 (vinagre).

Se estimarán las dimensiones características así como los espesores de los elementos estructurales que forman parte de los tanques. El diseño mecánico de dichos tanques se regirá bajo la norma americana API 650 (American Petroleum Institute).

II.2. Dimensiones características

En el presente apartado se abordará la descripción del cálculo de las dimensiones características de los tanques de almacenamiento.

Más adelante, en el Anexo VIII, se verán los modelados de los fermentadores, donde podrán obtenerse unos tiempos de ciclo de 140 horas para la fermentación alcohólica y 160 horas para la fermentación acética. La capacidad de los tanques de etanol, vinagre y pulmón 1 y 2 irán en función de estos tiempos de ciclo, así como de

los volúmenes que pretenden almacenarse y durante el tiempo que permanecerán en su interior.

Igualmente, la capacidad de los tanques de melaza concentrada y melaza diluida irán en función del tiempo de almacenamiento y de los volúmenes requeridos en la posterior etapa de fermentación alcohólica.

II.2.1. Tanque de almacenamiento de melaza concentrada

II.2.1.1. Capacidad

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en el Anexo I, referente al balance de materia del proceso, se procederá a determinar las dimensiones características del tanque de almacenamiento de melaza concentrada.

Los datos proporcionados por el balance de materia son los siguientes:

t ciclo (h)	140	Ferm. Alcohólica
t ciclo (días)	5,83	

Tabla II.2.1.1.a.: Tiempo de ciclo de la fermentación alcohólica.

L/ciclo	3573,41	Melaza concentr.
m3/ciclo	3,57	

Tabla II.2.1.1.b.: Volumen necesario de melaza concentrada por cada ciclo, para un solo fermentador.

La melaza concentrada será suministrada por la Azucarera Ebro una vez al mes (cada 30 días), por lo que el tanque que se diseñará albergará capacidad para contener un volumen igual al necesario en los ciclos fermentativos que se lleven a cabo en ese mes. Dividiendo los metros cúbicos de melaza necesarios en un ciclo entre los días que dura este, se obtiene los metros cúbicos diarios necesarios:

m3/día necesarios	0,61
--------------------------	------

Tabla II.2.1.1.c.: Volumen necesario diario de melaza concentrada para un solo fermentador.

Si se multiplica este valor por los 30 días de almacenamiento, se obtiene la cantidad mensual de melaza concentrada necesaria para un fermentador:

m3/mes necesarios	18,38
--------------------------	-------

Tabla II.2.1.1.d.: Volumen necesario mensual de melaza concentrada para un solo fermentador.

Como son cuatro los fermentadores alcohólicos, es necesario conocer la cantidad mensual total de melaza necesaria:

m3/mes nec. 4 ferm.	73,51
----------------------------	-------

Tabla II.2.1.1.e.: Volumen necesario mensual de melaza concentrada para los cuatro fermentadores.

Esta sería la capacidad total del tanque, aunque por motivos de seguridad habrá que sobredimensionarla un 20%, que es lo aconsejado:

m3/mes (sobredim.)	88,21
---------------------------	-------

Tabla II.2.1.1.f.: Volumen necesario mensual de melaza concentrada para los cuatro fermentadores (Sobredimensionado un 20%).

Para facilitar los cálculos, esta cantidad se redondeará a 90 m³, aumentando sensiblemente su capacidad sobredimensionada.

II.2.1.2. Diámetro y altura nominales

Partiendo de una capacidad de 90 m³, se procede a determinar el diámetro y la altura nominales de dicho tanque.

El diámetro viene determinado por la siguiente expresión (Perry's Chemical Engineers Handbook):

$$D(m) = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V(m^3)}{\alpha \cdot \pi}} \quad [\text{Ec. II.2.1.2.a.}]$$

Siendo α la relación entre la altura y el diámetro (Perry's Chemical Engineers Handbook):

$$\alpha = \frac{H}{D} \quad [\text{Ec. II.2.1.2.b.}]$$

En el caso de los tanques de almacenamiento, la citada bibliografía establece un valor de $\alpha=1,5$.

Conociendo la capacidad y el valor de α , puede conocerse el diámetro utilizando la ecuación II.2.1.2.a.:

$$D(m) = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 90 m^3}{1,5 \cdot \pi}} = 4,24 m$$

Una vez hallado el diámetro y conocida la relación altura/diámetro se procederá a hallar la altura nominal del tanque:

$$H(m) = \alpha \cdot D(m) \quad [\text{Ec. II.2.1.2.c.}]$$

Usando esta última expresión, se tiene:

$$H(m) = 1,5 \cdot 4,24 m = 6,36 m$$

II.2.1.3. Tabla resumen

Como resumen, se tabulan a continuación las dimensiones características del tanque de almacenamiento de melaza concentrada:

V (m ³)	$\alpha=H/D$	D (m)	H (m)
90	1,5	4,24	6,36

Tabla II.2.1.3.a.: Dimensiones características del tanque de almacenamiento de melaza concentrada.

II.2.2. Tanque de almacenamiento de melaza diluida

II.2.2.1. Capacidad

Los datos proporcionados por el balance de materia son los que aparecen a continuación:

t ciclo (h)	140	Ferm.
t ciclo (días)	5,83	Alcohólica

Tabla II.2.2.1.a.: Tiempo de ciclo de la fermentación alcohólica.

L/ciclo	7504,17	Melaza
m ³ /ciclo	7,50	diluida

Tabla II.2.2.1.b.: Volumen necesario de melaza diluida por cada ciclo, para un solo fermentador.

Son necesarios 7,50 metros cúbicos de melaza diluida para obtener una melaza al 24% de sacarosa y poder abastecer un ciclo en un fermentador. De esos 7,50 metros cúbicos van a alimentarse 6 al fermentador, como son cuatro los fermentadores:

m3 totales por ciclo	30
-----------------------------	----

Tabla II.2.2.1.c.: Volumen necesario de melaza diluida por cada ciclo, para los cuatro fermentadores.

Se almacenará la cantidad necesaria para abastecer a dos ciclos fermentativos. No se almacenará durante más tiempo, ya que al encontrarse diluida con agua, puede favorecer la proliferación de microorganismos indeseables en el proceso fermentativo, por lo que la capacidad requerida en este periodo es:

m3 totales en 2 ciclos	60
-------------------------------	----

Tabla II.2.2.1.d.: Volumen necesario de melaza diluida en dos ciclos, para los cuatro fermentadores.

Habrá que sobredimensionar esta capacidad un 20%, que es lo que habitualmente se aconseja en este tipo de diseño:

m3 totales (sobredim.)	72
-------------------------------	----

Tabla II.2.2.1.e.: Volumen necesario de melaza diluida en dos ciclos, para los cuatro fermentadores (Sobredimensionado 20%).

De igual manera que con el caso anterior, a efectos de cálculo se redondeará esta cantidad, en este caso a 75 metros cúbicos, aumentando sensiblemente la capacidad sobredimensionada.

II.2.2.2. Diámetro y altura nominales

Partiendo de una capacidad de 75 m³, se procede a determinar el diámetro y la altura nominales de dicho tanque. Para calcular estas dimensiones se utilizarán las ecuaciones: [Ec. II.2.1.2.a.], [Ec. II.2.1.2.b.], [Ec. II.2.1.2.c.], usadas en el caso anterior. La relación altura/diámetro sigue siendo de 1,5. Operando, se obtienen:

$$D = 3,99 \text{ m}$$

$$H = 5,99 \text{ m}$$

II.2.2.3. Tabla resumen

V (m3)	$\alpha=H/D$	D (m)	H (m)
75	1,5	3,99	5,99

Tabla II.2.2.3.a.: Dimensiones características del tanque de almacenamiento de melaza diluida.

II.2.3. Tanque de almacenamiento de vinagre

II.2.3.1. Capacidad

Los datos de tiempo de ciclo y volumen obtenido de vinagre en cada ciclo para un solo fermentador, proporcionados por el balance de materia son los siguientes:

t ciclo (h)	160	Ferm. Acética
t ciclo (días)	6,67	

Tabla II.2.3.1.a.: Tiempo de ciclo de la fermentación acética.

L/ciclo	5550,60	Vinagre
m3/ciclo	5,55	

Tabla II.2.3.1.b.: Volumen de vinagre obtenido en un ciclo para un solo fermentador.

En cada ciclo fermentativo van a obtenerse 5,6 metros cúbicos de vinagre, aproximadamente unos 6 metros cúbicos por fermentador, como son cuatro:

m3 totales por ciclo	24
-----------------------------	----

Tabla II.2.3.1.c.: Volumen de vinagre obtenido en un ciclo por cuatro fermentadores.

En total, pretende almacenarse un volumen igual al producido en dos ciclos fermentativos, por lo que se obtiene una capacidad de:

m3 totales en dos ciclos	48
---------------------------------	----

Tabla II.2.3.1.d.: Volumen de vinagre obtenido en dos ciclos por cuatro fermentadores.

Sobredimensionando esta capacidad un 20%:

m3 totales (sobredim.)	57,6
-------------------------------	------

Tabla II.2.3.1.e.: Volumen de vinagre obtenido en dos ciclos por cuatro fermentadores (Sobredimensionado 20%).

A efectos de cálculo, se redondeará esta cantidad a 60 metros cúbicos, aumentando sensiblemente la capacidad sobredimensionada.

II.2.3.2. Diámetro y altura nominales

Partiendo de una capacidad de 60 m^3 , se procede a determinar el diámetro y la altura nominales de dicho tanque. Para calcular estas dimensiones se utilizarán las ecuaciones: [Ec. II.2.1.2.a.], [Ec. II.2.1.2.b.], [Ec. II.2.1.2.c.], usadas en los casos anteriores. La relación altura/diámetro sigue siendo de 1,5. Operando, se obtienen:

$$D = 3,71 \text{ m}$$

$$H = 5,56 \text{ m}$$

II.2.3.3. Tabla resumen

V (m ³)	$\alpha=H/D$	D (m)	H (m)
60	1,5	3,71	5,56

Tabla II.2.3.3.a.: Dimensiones características del tanque de almacenamiento de vinagre.

II.2.4. Tanque de almacenamiento de etanol y tanques pulmón

II.2.4.1. Capacidad

Estos tres tanques albergarán la misma capacidad. Los cuatro fermentadores, en cada proceso fermentativo, no trabajarán simultáneamente, sino que primero empezarán a trabajar dos de ellos en cada caso y a mitad de ciclo se alimentarán los otros dos, por lo que es necesario disponer de unos tanques pulmón que servirán de reservorio en ese desfase de tiempo, al igual que ocurre con el tanque de almacenamiento de etanol, donde se almacenará un ciclo completo de los cuatro fermentadores.

El volumen obtenido de etanol y vinagre en cada ciclo para un solo fermentador, proporcionados por el balance de materia es el siguiente:

L/ciclo (etanol y vinagre)	5550,60
m ³ /ciclo (etanol y vinagre)	5,55

Tabla II.2.4.1.a.: Volumen obtenido tanto de etanol como de vinagre en cada ciclo fermentativo.

Se obtiene el mismo volumen ya que la estequiometría establece que un mol consumido de etanol produce un mol de ácido acético (estequiometría 1:1).

Se obtienen alrededor de 6 metros cúbicos por ciclo en cada fermentador, como son cuatro:

m3 totales por ciclo	24
-----------------------------	----

Tabla II.2.4.1.b.: Volumen obtenido de etanol y vinagre en un ciclo por cuatro fermentadores.

Esta capacidad habrá que sobredimensionarla un 20%, que es lo que se aconseja habitualmente en este tipo de diseño:

m3 totales (sobredim.)	28,8
-------------------------------	------

Tabla II.2.4.1.c.: Volumen obtenido de etanol y vinagre en un ciclo por cuatro fermentadores (Sobredimensionado 20%).

A efectos de cálculo, se redondeará esta capacidad a 30 metros cúbicos, aumentando sensiblemente el sobredimensionamiento.

II.2.4.2. Diámetro y altura nominales

Partiendo de una capacidad de 30 m³, se procede a determinar el diámetro y la altura nominales de dicho tanque. Para calcular estas dimensiones se utilizarán las ecuaciones: [Ec. II.2.1.2.a.], [Ec. II.2.1.2.b.], [Ec. II.2.1.2.c.], usadas en los casos anteriores. La relación altura/diámetro sigue siendo de 1,5. Operando, se obtienen:

$$D = 2,94 \text{ m}$$

$$H = 4,41 \text{ m}$$

II.2.4.3. Tabla resumen

V (m3)	$\alpha=H/D$	D (m)	H (m)
30	1,5	2,94	4,41

Tabla II.2.4.3.a.: Dimensiones características del tanque de almacenamiento de etanol y tanques pulmón.

II.2.5. Tabla resumen de las dimensiones características de los tanques

	V (m ³)	$\alpha=H/D$	D nominal (m)	H nominal (m)
T.A. Melaza Concentrada	90	1,5	4,24	6,36
T.A. Melaza Diluida	75	1,5	3,99	5,99
T.A. Vinagre	60	1,5	3,71	5,56
T.A. Etanol	30	1,5	2,94	4,41
Tanque pulmón 1 (etanol)	30	1,5	2,94	4,41
Tanque pulmón 2 (vinagre)	30	1,5	2,94	4,41

Tabla II.2.5.a.: Dimensiones características de los tanques de almacenamiento.

II.3. Diseño mecánico de los tanques

Una vez que se conocen y se justifican los volúmenes de almacenamiento, se procederá a obtener las dimensiones reales de los tanques. Se procederá igualmente a aplicar las directrices de diseño mecánico establecidas por la norma API 650 (American Petroleum Institute). Serán objeto de diseño el espesor de los cascos, espesores de los fondos y los espesores de los techos fijos y flotantes.

II.3.1. Espesores de los cascos

Para hallar el espesor de los cascos, la norma establece las siguientes vías de cálculo:

- Por condiciones de diseño.
- Por prueba hidráulica.
- El indicado en la siguiente tabla:

Nominal Tank Diameter		Nominal Plate Thickness	
(m)	(ft)	(mm)	(in.)
< 15	< 50	5	³ / ₁₆
15 to < 36	50 to < 120	6	¹ / ₄
36 to 60	120 to 200	8	⁵ / ₁₆
> 60	> 200	10	³ / ₈

Tabla II.3.1.a.: Espesores mínimos recomendados para los cascos en función del diámetro del tanque (Norma API 650).

El espesor nunca será menor que el indicado en la Tabla II.3.1.a.

Para hallar los espesores mediante condiciones de diseño y mediante prueba hidráulica hay que tener en cuenta el material de construcción de los tanques, ya que las fórmulas varían. Se ha optado por construir los tanques de almacenamiento de melaza concentrada y melaza diluida en acero al carbono SA-285 Grado C, ya que es un material resistente y las melazas no tienen poder corrosivo, por lo que no será necesario el uso de acero inoxidable.

En el caso de los tanques de almacenamiento de vinagre, etanol y tanques pulmón, se optará por construirlos en acero inoxidable SA-240 316L, debido a que el ácido acético presente en el vinagre y el etanol tienen poder corrosivo, aún conociéndose que se encuentran en bajas concentraciones.

II.3.1.1. Espesores de los cascos contruidos en acero al carbono

- Por condiciones de diseño:

La ecuación que proporciona el espesor por condiciones de diseño es la siguiente:

$$t_d(mm) = \frac{4,9 \cdot D(m) \cdot [h_{líquido}(m) - 0,3048] \cdot G}{S_d(MPa)} \quad [\text{Ec. II.3.1.1.a.}]$$

Siendo:

- t_d : espesor de diseño del tanque, en mm.
- D : diámetro nominal del tanque, en m.
- $h_{líquido}$: altura del líquido en el interior del tanque, en m.
- G : gravedad específica de la sustancia almacenada en el tanque.
- S_d : tensión máxima admisible en condiciones de diseño, en MPa.

La altura del líquido en el tanque se calcula de la siguiente manera:

$$h_{\text{líquido}}(m) = \frac{\text{Volumen de líquido en el interior del tanque (m}^3\text{)}}{\text{Área de la base (m}^2\text{)}} = \frac{V (m^3)}{\pi \cdot (D/2)^2}$$

[Ec. II.3.1.1.b.]

Siendo el área de la base el área de un círculo del diámetro del tanque.

La gravedad específica, G, se calcula de la siguiente forma:

$$G = \frac{\text{Densidad del líquido almacenado a 25}^\circ\text{C (kg/m}^3\text{)}}{\text{Densidad del agua a 25}^\circ\text{C (kg/m}^3\text{)}}$$

[Ec. II.3.1.1.c.]

Finalmente, la tensión máxima admisible del material en condiciones de diseño para el tanque se tomará de la siguiente tabla:

Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness <i>t</i> mm	Minimum Yield Strength Mpa	Minimum Tensile Strength Mpa	Product Design Stress <i>S_d</i> Mpa	Hydrostatic Test Stress <i>S_t</i> Mpa
ASTM Specifications						
A 283M	C		205	380	137	154
A 285M	C		205	380	137	154
A 131M	A, B		235	400	157	171
A 36M	—		250	400	160	171
A 131M	EH 36		360	490 ^a	196	210
A 573M	400		220	400	147	165
A 573M	450		240	450	160	180
A 573M	485		290	485 ^a	193	208
A 516M	380		205	380	137	154
A 516M	415		220	415	147	165
A 516M	450		240	450	160	180
A 516M	485		260	485	173	195
A 662M	B		275	450	180	193
A 662M	C		295	485 ^a	194	208
A 537M	1	<i>t</i> ≤ 65	345	485 ^a	194	208
		65 < <i>t</i> ≤ 100	310	450 ^b	180	193
A 537M	2	<i>t</i> ≤ 65	415	550 ^a	220	236
		65 < <i>t</i> ≤ 100	380	515 ^b	206	221
A 633M	C, D	<i>t</i> ≤ 65	345	485 ^a	194	208
		65 < <i>t</i> ≤ 100	315	450 ^b	180	193
A 678M	A		345	485 ^a	194	208
A 678M	B		415	550 ^a	220	236
A 737M	B		345	485 ^a	194	208
A 841M	Class 1		345	485 ^a	194	208
A 841M	Class 2		415	550 ^a	220	236

Tabla II.3.1.1.a.: Tensión máxima admisible en condiciones de diseño y para prueba hidráulica (Norma API 650).

Para acero al carbono A 285M Grado C se tienen 137 y 154 MPa para tensiones máximas admisibles en condiciones de diseño y prueba hidráulica, respectivamente.

▪ Por prueba hidráulica:

Una vez calculado el espesor por condiciones de diseño, se procederá a calcular el correspondiente a la prueba hidráulica, que se determina de manera similar según la siguiente ecuación:

$$t_t(mm) = \frac{4,9 \cdot D(m) \cdot [h_{líquido}(m) - 0,3048]}{S_t(MPa)} \quad [\text{Ec. II.3.1.1.d.}]$$

Siendo t_t el espesor por prueba hidráulica y el resto de parámetros son ya conocidos.

Con las ecuaciones anteriores quedan determinados los espesores de los cascos tanto para las condiciones de diseño como para la prueba hidráulica (se debe tener en cuenta que no pueden ser inferiores al espesor establecido en la Tabla II.3.1.a., en cuyo caso se tomaría este).

II.3.1.2. Espesores de los cascos contruidos en acero inoxidable

▪ Por condiciones de diseño:

Se procederá de igual forma que en el caso anterior para calcular el espesor, aunque se utilizarán ecuaciones distintas, aunque similares. El espesor calculado en condiciones de diseño viene determinado por la siguiente ecuación:

$$t_d(mm) = \frac{4,9 \cdot D(m) \cdot [h_{líquido}(m) - 0,3] \cdot G}{S_d(MPa) \cdot E}$$

[Ec. II.3.1.2.a.]

Siendo:

- t_d : espesor de diseño del tanque, en mm.
- D : diámetro nominal del tanque, en m.
- $h_{líquido}$: altura del líquido en el interior del tanque, en m.
- G : gravedad específica de la sustancia almacenada en el tanque.
- S_d : tensión máxima admisible en condiciones de diseño, en MPa.

- E: eficiencia de soldadura.

Los cálculos de la altura del líquido y la gravedad específica son ya conocidos. La norma API 650 establece una eficiencia de soldadura recomendada de 0,85 para el diseño de este tipo de tanques.

La tensión máxima admisible en condiciones de diseño para tanques de acero inoxidable viene determinada por la siguiente tabla:

Type	Min. Yield MPa	Min. Tensile MPa	Allowable Stress (S_d) (in MPa) for Maximum Design Temperature Not Exceeding					
			40°C	90°C	150°C	200°C	260°C	S_t Ambient
201-1	260	515	155	136	125	121	--	234
201LN	310	655	197	172	153	145	143	279
304	205	515	155	155	140	128	121	186
304L	170	485	145	132	119	109	101	155
316	205	515	155	155	145	133	123	186
316L	170	485	145	131	117	107	99	155
317	205	515	155	155	145	133	123	186
317L	205	515	155	155	145	133	123	186

Tabla II.3.1.2.a.: Tensión máxima admisible en condiciones de diseño (Norma API 650).

Para acero inoxidable 316L y una temperatura de almacenamiento que no excede los 40 °C, se tiene una tensión máxima admisible en condiciones de diseño de 145 MPa.

- Por prueba hidráulica:

De manera similar se calcula el espesor para la prueba hidráulica:

$$t_t(mm) = \frac{4,9 \cdot D(m) \cdot [h_{\text{líquido}}(m) - 0,3]}{S_t(MPa) \cdot E}$$

[Ec. II.3.1.2.b.]

Siendo t_t el espesor mínimo por prueba hidráulica y el resto de parámetros ya conocidos, a excepción de S_t , que viene determinado por la siguiente tabla:

Type	Allowable Stress (S_y) (in MPa) for Maximum Design Temperature Not Exceeding				
	40°C	90°C	150°C	200°C	260°C
201-1	155	133	115	104	--
201LN	197	167	151	143	138
304	140	115	103	95	89
304L	117	99	88	81	75
316	140	119	107	99	92
316L	117	97	87	79	73
317	140	119	108	99	92
317L	140	119	108	99	92

Tabla II.3.1.2.b.: Tensión máxima admisible por prueba hidráulica (Norma API 650).

Para un acero inoxidable del tipo 316L y una temperatura de almacenaje que no excede los 40 °C, se tiene una tensión máxima admisible de 117 MPa.

Con las ecuaciones anteriores quedan determinados los espesores de los cascos tanto para las condiciones de diseño como para la prueba hidráulica (se debe tener en cuenta que no pueden ser inferiores al espesor establecido en la Tabla II.3.1.a., en cuyo caso se tomaría este).

II.3.2. Espesores de los fondos

Los espesores de los fondos se encuentran en función del espesor del casco y de la tensión máxima admisible en condiciones de prueba hidráulica, como muestra la siguiente tabla:

Plate Thickness ^a of First Shell Course (mm)	Stress ^b in First Shell Course (MPa)			
	≤ 190	≤ 210	≤ 220	≤ 250
$t \leq 19$	6	6	7	9
$19 < t \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t \leq 40$	8	11	14	17
$40 < t \leq 45$	9	13	16	19

Tabla II.3.2.a.: Espesores de los fondos (Norma API 650).

Para un espesor de casco que no supera los 19 mm y una tensión máxima admisible en condiciones de prueba hidráulica que no supera los 190 MPa, se tiene un espesor de fondo de 6 mm.

II.3.3. Espesores de los techos

En los tanques diseñados, se utilizarán dos tipos de techo:

- Techo fijo cónico autoportado.
- Techo interior flotante.

Cada uno de estos techos establece unos espesores mínimos y además, en el caso del techo cónico autoportado, se consideran otros parámetros que se describirán a continuación.

II.3.3.1. Techo fijo cónico autoportado

El techo fijo cónico autoportado será del mismo diámetro que el tanque sobre el que se sujeta. Formará en ambos extremos un ángulo de $9,5^{\circ}$ respecto a la horizontal (API 650), tal como indica la siguiente figura:

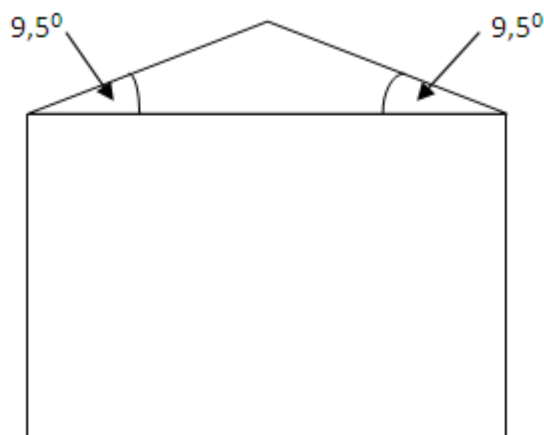


Figura II.3.3.1.a.: Techo cónico fijo autoportado.

Su espesor no podrá ser inferior a 5 mm, aunque se optará por escoger el espesor mayor calculado, que es el espesor de los fondos, de 6 mm.

Este tipo de techo irá instalado en los tanques de almacenamiento de melaza concentrada, melaza diluida y vinagre, ya que es el más utilizado en la construcción de tanques de almacenamiento atmosféricos.

II.3.3.2. Techo interior flotante

Este tipo de techo irá instalado en el tanque de almacenamiento de etanol y en los tanques pulmón. El etanol es una sustancia volátil, y ante aumentos de temperatura parte del contenido del tanque puede volatilizarse, aumentando su presión en el interior y haciendo que la planta corra peligro. Para evitar esta sobrepresión se ha optado por un techo interior flotante, que variará su posición en función de la cantidad de sustancia en el interior del tanque, así como variará también por lo descrito anteriormente.

Uno de los tanques pulmón contiene vinagre, y aunque no presenta un riesgo como en el caso del tanque pulmón y de almacenamiento de etanol, por criterios de homogeneización se ha decidido construirlo de la misma manera.

Según API 650, los techos internos flotantes de acero inoxidable están compuestos por dos superficies:

- La superficie que debe estar en contacto con la sustancia almacenada, que tendrá un espesor mínimo de 1,2 mm.
- La superficie que estará en contacto con la atmósfera, que tendrá un espesor mínimo de 0,46 mm.

A todos los espesores anteriormente calculados (casco, fondo y techo) habrá que añadirles el sobreespesor por corrosión establecido para cada tipo de material, que según la Especificación CEPESA ESP 1101-01 son:

- Para acero al carbono: 3 mm
- Para acero inoxidable: 1,5 mm

II.4. Construcción de los tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento estarán constituidos por unos paneles de acero que irán soldados entre sí. Los paneles de acero constituyen el cuerpo central del tanque (casco) y se les denomina virolas.

Existen en el mercado diversas medidas de virolas estandarizadas, aunque las que se utilizan comúnmente son las que se muestran en la siguiente tabla:

Virolas comerciales		
m	mm	in
1,8	1800	72
2	2000	80
2,2	2200	88
2,44	2440	96

Tabla II.4.a.: Medidas de las virolas comunes más utilizadas.

Las medidas de estas virolas constituyen la altura del tanque, por lo que se seleccionarán varias de ellas de manera que se alcance aproximadamente la altura que se ha establecido en el diseño. De esta manera, se obtiene finalmente la altura del casco en cada uno de los tanques diseñados:

CASCO	
H nominal (m)	H virolas (m)
6,36	6,4
5,99	6,04
5,56	5,8
4,41	4,64
4,41	4,64
4,41	4,64

Tabla II.4.b.: Altura del casco utilizando virolas comerciales, comparado con la altura nominal calculada.

II.5. Dimensiones y espesores finales de los tanques

A continuación se mostrarán, a modo de resumen, distintas tablas para cada uno de los tanques de almacenamiento diseñados, de manera que recojan los resultados de los cálculos realizados en el diseño.

T.A. MELAZA CONCENTRADA			
Dimensiones características			
H nominal (m)	6,36	D nominal (m)	4,24
V (m³)	90	$\alpha=H/D$	1,5
Espesor del casco (diseño mecánico)			
G	1,37	h líquido (m)	5,20
Sd (Mpa)	137	St (Mpa)	154
td (mm)	1,02	tt (mm)	0,66
t definitivo (mm)	5	t definitivo + CA (mm)	8
Espesor del fondo			
t fondo (mm)	6	t fondo + CA (mm)	9
Espesor del techo fijo cónico autosoportado			
t techo (mm)	6	t techo + CA (mm)	9
Dimensiones reales del tanque			
H (m)	6,4	D (m)	4,24
V (m³)	90		

Tabla II.5.a.: Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de melaza concentrada.

T.A. MELAZA DILUIDA			
Dimensiones características			
H nominal (m)	5,99	D nominal (m)	4,24
V (m³)	75	$\alpha=H/D$	1,5
Espesor del casco (diseño mecánico)			
G	1	h líquido (m)	4,79
Sd (Mpa)	137	St (Mpa)	154
td (mm)	0,64	tt (mm)	0,57
t definitivo (mm)	5	t definitivo + CA (mm)	8
Espesor del fondo			
t fondo (mm)	6	t fondo + CA (mm)	9
Espesor del techo fijo cónico autosoportado			
t techo (mm)	6	t techo + CA (mm)	9
Dimensiones reales del tanque			
H (m)	6,04	D (m)	4,24
V (m³)	75		

Tabla II.5.b.: Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de melaza diluida.

T.A. VINAGRE			
Dimensiones características			
H nominal (m)	5,56	D nominal (m)	3,71
V (m³)	60	$\alpha=H/D$	1,5
Espesor del casco (diseño mecánico)			
G	1	h líquido (m)	4,45
Sd (Mpa)	145	St (Mpa)	117
td (mm)	0,61	tt (mm)	0,76
E	0,85		
t definitivo (mm)	5	t definitivo + CA (mm)	6,5
Espesor del fondo			
t fondo (mm)	6	t fondo + CA (mm)	7,5
Espesor del techo fijo cónico autosoportado			
t techo (mm)	1,3	t techo + CA (mm)	2,8
Dimensiones reales del tanque			
H (m)	5,8	D (m)	3,71
V (m³)	60		

Tabla II.5.c.: Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de vinagre.

T.A. ETANOL Y TANQUES PULMÓN			
Dimensiones características			
H nominal (m)	4,41	D nominal (m)	2,94
V (m³)	30	$\alpha=H/D$	1,5
Espesor del casco (diseño mecánico)			
G	1	h líquido (m)	3,53
Sd (Mpa)	145	St (Mpa)	117
td (mm)	0,38	tt (mm)	0,47
E	0,85		
t definitivo (mm)	5	t definitivo + CA (mm)	6,5
Espesor del fondo			
t fondo (mm)	6	t fondo + CA (mm)	7,5
Espesor del techo interior flotante			
t techo interno (mm)	1,2	t techo interno + CA (mm)	1,7
t techo externo (mm)	0,46	t techo externo + CA (mm)	1,96
Dimensiones reales del tanque			
H (m)	4,64	D (m)	2,94
V (m³)	30		

Tabla II.5.d.: Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de etanol y los tanques pulmón.

Los espesores finales serán los especificados por el fabricante y de ningún modo serán inferiores a los calculados en el diseño mecánico.

ANEXO III: DISEÑO DE LOS FERMENTADORES

III.1. Introducción

En el presente Anexo se detallarán los cálculos del diseño de los tanques de fermentación. Dichos tanques consisten en recipientes cilíndricos a presión con cabezales y fondos en los extremos.

Se han diseñado conforme a la normativa americana ASME Sección VIII, División 1, que contempla los cálculos referentes al diseño de recipientes a presión y calderas.

III.2. Cálculos geométricos del tanque de fermentación

Se ha fijado un volumen de operación de 12 metros cúbicos, aunque se ha considerado aproximadamente un 20% de seguridad, quedando finalmente un volumen de 15 metros cúbicos, otorgando así un margen de volumen:

Volumen trabajo (m3)	Volumen seguridad 20% (m3)	Volumen fermentador (m3)
12	14,4	15

Tabla III.2.1.: Volumen de trabajo y volumen real del fermentador.

Se establecerá la siguiente relación geométrica para poder hallar el diámetro y la altura de los tanques de fermentación:

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H \quad [\text{Ec. III.2.a.}]$$

Se conoce el volumen del tanque (V) (15 metros cúbicos), pero no el diámetro interior (D) y la altura de éste (H).

Normalmente se establece una relación altura/diámetro ($\alpha=H/D$), que en el caso de los reactores es de $\alpha=3$ (Perry's Chemical Engineer's Handbook).

Conociendo esta relación, la expresión anterior puede modificarse para poder conocer la altura y el diámetro del fermentador:

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H; \alpha = \frac{H}{D} \rightarrow H = \alpha \cdot D \quad [\text{Ec. III.2.b.}]$$

Entonces:

$$V = \pi \cdot \frac{D^3}{4} \cdot \alpha \quad [\text{Ec. III.2.c.}]$$

Despejando el diámetro queda:

$$D^3 = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \alpha} \quad [\text{Ec. III.2.d.}]$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \alpha}} \quad [\text{Ec. III.2.e.}]$$

Igualmente, de la expresión del volumen puede hallarse la altura:

$$H = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \quad [\text{Ec. III.2.f.}]$$

Además, conociendo estas dimensiones, puede obtenerse el área del tanque:

$$A = \pi \cdot D \cdot H \quad [\text{Ec. III.2.g.}]$$

Sabiendo esto, finalmente se conoce la geometría del fermentador:

	Volumen (m3)	Relación $\alpha=H/D$	D (m)	H (m)	A (m2)
Fermentador	15	3	1,85	5,56	32,37

Tabla III.2.2.: Geometría del fermentador.

III.3. Presión de diseño, Pd

La presión de operación será de Poperación = 1 kg/cm² (aproximadamente 1 atmósfera). Para establecer la presión de diseño, ASME considera la mayor obtenida a partir de estas tres relaciones:

$$P_d > 1,1 \cdot P_{operación} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \quad [\text{Ec. III.3.a.}]$$

$$P_d > P_{operación} + 2 \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \quad [\text{Ec. III.3.b.}]$$

$$P_d > 3,5 \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \quad [\text{Ec. III.3.c.}]$$

Así pues, se obtiene la siguiente presión de diseño:

Pd (kg/cm2)	3,5
Pd (MPa)	0,34

Tabla III.3.1.: Presión de diseño.

III.4. Temperatura de diseño, Td

Será la máxima temperatura de operación incrementada en 20°C. La temperatura de operación será de 30°C, por tanto:

$$T_d = T_{operación} + 20^{\circ}C \quad [\text{Ec. III.4.a.}]$$

$$T_d = 30^{\circ}C + 20^{\circ}C$$

Td(°C)	50
---------------	----

Tabla III.4.1.: Temperatura de diseño.

III.5. Tensión máxima admisible, S

La tensión admisible es aquella que asegura las no deformaciones permanentes en los materiales. Esta tensión variará dependiendo del material utilizado y de la temperatura de diseño establecida.

Para el diseño de los fermentadores se utilizará acero inoxidable SA-240 Grado 316L, debido a su alta resistencia a la corrosión.

Según ASME Sección VIII, División 1, en el apartado UHA-23, donde se hace referencia a los aceros de alta aleación, la tensión máxima admisible será la obtenida a partir de la interpolación de valores tabulados de tensión máxima admisible para distintas temperaturas de diseño. Se trata de la tabla 1A, que se incluye en la Sección II, Parte D del código ASME.

Dicha tabla se incluirá en el Anexo correspondiente a las tablas y datos utilizados en los cálculos.

Así pues, para un acero inoxidable SA-240 Grado 316L y una temperatura de diseño de 50°C, se obtiene la siguiente tensión máxima admisible, S:

S (MPa)	115
----------------	------------

Tabla III.5.1.: Tensión máxima admisible para el acero inoxidable SA-240 316L.

III.6. Eficiencia de soldadura, E

La unión entre las chapas se realiza, habitualmente, por medio de la soldadura. Ésta presenta una discontinuidad en el trazado de la chapa que puede derivar en una intensificación local de las tensiones a las que se somete el material utilizado. Además de esto, cabe la posibilidad de que se produzcan defectos en el trazado de la soldadura, lo que haría considerar a esta como debilitada.

De este modo, se presenta un coeficiente que tiene en cuenta los posibles defectos que puedan presentarse en la soldadura. Dicho coeficiente, según el código ASME, puede adoptar los siguientes valores:

- $E = 0,85$ (Si se realiza un radiografiado por puntos a las soldaduras)
- $E = 1$ (Si el radiografiado de las soldaduras es total)

La eficiencia de la junta $E=0,85$, según ASME UW-12, será una junta a tope hecha por doble cordón de soldadura o por cualquier otro medio en el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza.

Normalmente, por razones de seguridad, se opta por un valor de 0,85.

E	0,85
---	------

Tabla III.6.1.: Eficiencia de soldadura.

III.7. Espesor mínimo de la envolvente, t_{min}

El espesor mínimo de la envolvente será el mayor obtenido a partir del calculado por especificación y los hallados debido a los esfuerzos circunferenciales y longitudinales.

- *Espesor mínimo según especificación:*

Será el mayor de los siguientes valores:

$$t_{min} = 2,5 + c \text{ (mm)} \rightarrow \text{Exigido por el código ASME} \quad [\text{Ec. III.7.a.}]$$

$$t_{min} = \frac{D_{interno}}{1000} + 2,54 + c \text{ (mm)} \quad [\text{Ec. III.7.b.}]$$

$$t_{min} = 3 \text{ (mm)} \rightarrow \text{Para el caso de aceros inoxidables} \quad [\text{Ec. III.7.c.}]$$

Donde:

c = factor de corrosión, en mm. Según ESPECIFICACIÓN CEPESA 1101-1, para el caso de un acero inoxidable, el factor de corrosión es de 1,5 mm.

$D_{interno}$ = diámetro interno del tanque, hallado en el apartado “Cálculos geométricos del tanque de fermentación” y corresponde a 1,85 m (1853,36 mm).

Sabiendo esto, y aplicando las expresiones anteriores, se obtiene un espesor mínimo de:

$t_{min} \text{ (mm)}$	5,89
------------------------	------

Tabla III.7.1.: Espesor mínimo según especificación.

- *Espesor mínimo debido a esfuerzos circunferenciales:*

Viene dado por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} + c \quad [\text{Ec. III.7.d.}]$$

Donde:

P	Presión de diseño, en MPa	0,34
R	Radio interior, en mm	926,68
S	Tensión máxima admisible, en MPa	115
E	Eficiencia de soldadura	0,85
c	Factor de corrosión, en mm	1,5

Sustituyendo estos datos en la expresión anterior se obtiene:

$$t = \frac{0,34 \cdot 926,68}{115 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 0,34} + 1,5$$

t (mm)	4,73
---------------	-------------

Tabla III.7.2.: Espesor mínimo debido a esfuerzos circunferenciales.

- *Espesor mínimo debido a esfuerzos longitudinales:*

Viene dado por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0,4P} + c \quad [\text{Ec. III.7.e.}]$$

Donde:

P	Presión de diseño, en MPa	0,34
R	Radio interior, en mm	926,68
S	Tensión máxima admisible, en MPa	115
E	Eficiencia de soldadura	0,85
c	Factor de corrosión, en mm	1,5

Sustituyendo estos datos en la ecuación anterior se obtiene:

$$t = \frac{0,34 \cdot 926,68}{2 \cdot 115 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 0,34} + 1,5$$

t (mm)	3,11
---------------	-------------

Tabla III.7.3.: Espesor mínimo debido a esfuerzos longitudinales.

Finalmente, el valor de espesor mínimo que se toma es el calculado según especificación, ya que es el mayor hallado:

t_{min} (mm)	5,89
-----------------------------	------

Tabla III.7.4.: Espesor mínimo según especificación (mayor calculado).

Como en el mercado, las medidas de estos espesores se encuentran estandarizadas, se usará un espesor de envoltente inmediatamente mayor al calculado, en este caso:

t comercial (mm)	6,00
-------------------------	------

Tabla III.7.5.: Espesor comercial.

Conocido ya el espesor de la envoltente, se puede calcular el radio exterior de esta. El cálculo viene expresado por la siguiente ecuación:

$$R_{\text{exterior}} = R + t \quad [\text{Ec. III.7.f.}]$$

Donde:

R	Radio interior, en mm
t	Espesor de la envoltente, en mm

Por tanto, se obtiene:

$$R_{\text{exterior}} = 926,68 + 6$$

R_{exterior} (mm)	932,68
----------------------------------	--------

Tabla III.7.6.: Radio exterior.

Una vez que se conoce el radio exterior, se puede hallar de igual manera el diámetro exterior de la envoltente mediante la siguiente expresión:

$$D_{\text{exterior}} = D + 2t_{\text{envoltente}} \quad [\text{Ec. III.7.g.}]$$

Donde:

D	Diámetro interior de la envoltente, en mm
t _{envoltente}	Espesor de pared de la envoltente, en mm

Finalmente se obtiene:

$$D_{\text{exterior}} = 1853,36 + 2 \cdot 6$$

Dexterior (mm)	1865,36
-----------------------	---------

Tabla III.7.7.: Diámetro exterior.

III.8. Dimensiones de los cabezales y fondos

El fermentador, al haber sido diseñado como un recipiente a presión cilíndrico, estará provisto de un cabezal en la parte superior y un fondo en la parte inferior, ambos de tipo toriesférico, ya que son los más usados industrialmente. Existen dos tipos de cabezales y fondos toriesféricos: tipo Klöpper y tipo Korbbogen.

Los cabezales y fondos toriesféricos del tipo Korbbogen, Elípticos ó Semiesféricos, se usarán cuando se den algunas de las siguientes condiciones:

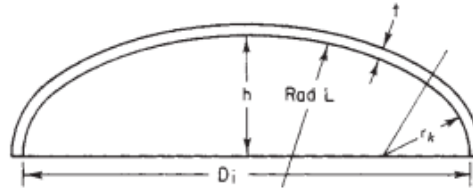
- a) Presión de diseño igual o superior a 7 kg/cm².
- b) Temperatura de diseño superior a 350°C.
- c) Fondos de recipientes verticales cuya relación:

L/D sea igual o mayor que 10.
- d) Cabezales de recipientes verticales que deban soportar cargas concentradas (agitadores, etc.)

Debido a que no se presenta ninguna de las anteriores condiciones, se hará uso de los cabezales y fondos toriesféricos tipo Klöpper.

Las dimensiones características de este tipo de cabezal y fondo se pueden calcular mediante las expresiones que se muestran en la siguiente tabla (Código ASME).

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.



Type of head	Knuckle radius, r_k	h	L	Volume	% Error	Remarks
Standard dished	Approx. $3t$		Approx. D_i	Approx. $0.050D_i^3 + 1.65tD_i^2$	± 10	h varies with t
Torispherical or A.S.M.E.	$0.06L$		D_i	$0.0809D_i^3$	± 0.1	r_k must be the larger of $0.06L$ and $3t$
Torispherical or A.S.M.E.	$3t$		D_i	Approx. $0.513hD_i^2$	± 8	
Ellipsoidal		$D_i/4$		$\pi D_i^3 h/6$	0	Standard proportions
Ellipsoidal		$D_i/2$		$\pi D_i^3/24$	0	
Hemispherical			$D_i/2$	$\pi D_i^3/12$	0	Truncated cone h = height d = diameter at small end
Conical				$\pi h(D_i^2 + D_i d + d^2)/12$	0	

*Use consistent units.

Tabla III.8.1.: Dimensiones características del cabezal tori esférico (Código ASME Sección II División 1)

$$r = 0,06L \quad [\text{Ec. III.8.a.}]$$

$$L = D_{\text{interior}} \quad [\text{Ec. III.8.b.}]$$

$$V = 0,0809D_{\text{interior}}^3 \quad [\text{Ec. III.8.c.}]$$

Donde:

L	Radio interior de curvatura, en mm
r	Radio interior del abombado, en mm
D_{interior}	Diámetro interior del recipiente, en mm

- *Espesor mínimo de los cabezales:*

El Código ASME contempla varias formas de calcular el espesor de los cabezales y los fondos dependiendo del valor que adopte la relación L/r :

- ◆ Para $L/r = 16,67$

$$t = \frac{0,885PL}{SE - 0,1P} \quad [\text{Ec. III.8.d.}]$$

- ♦ Para $L/r < 16,67$

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0,2P} \quad [\text{Ec. III.8.e.}]$$

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{L}{r}} \right) \quad [\text{Ec. III.8.f.}]$$

Donde:

P	Presión de diseño, en MPa
L	Radio interior de curvatura, en mm
S	Tensión máxima admisible, en MPa
E	Eficiencia de soldadura
M	Parámetro que depende de las dimensiones del cabezal

Para saber qué expresión se usará para el cálculo del espesor mínimo, habrá que hallar primero el valor de la relación L/r :

$$L = D_{\text{interior}} = 1853,36 \text{ mm}$$

$$r = 0,06L = 0,06 \cdot 1853,36 = 111,20 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{r} = \frac{1853,36}{111,20} = 16,67$$

Como se ha obtenido $L/r = 16,67$, la expresión que se usará para calcular el espesor mínimo de los cabezales es:

$$t = \frac{0,885PL}{SE - 0,1P} \quad [\text{Ec. III.8.g.}]$$

Sustituyendo los datos en esta expresión se obtiene:

$$t = \frac{0,885 \cdot 0,34 \cdot 1853,36}{115 \cdot 0,85 - 0,1 \cdot 0,34} = 5,71 \text{ mm}$$

t (mm)	5,71
--------	------

Tabla III.8.2.: Espesor mínimo de los cabezales.

Se añade a este espesor el factor de corrosión, 1,5 mm, quedando:

t (mm)	7,21
---------------	------

Tabla III.8.3.: Espesor mínimo de los cabezales + CA.

Comercialmente, el espesor que se elegirá para estos fondos será de:

t comercial (mm)	8,00
-------------------------	------

Tabla III.8.4.: Espesor comercial del cabezal.

- *Espesor mínimo de los fondos:*

Al igual que ocurre con el cálculo del espesor de los cabezales, se utilizará la misma expresión, puesto que las condiciones son idénticas:

$$t = \frac{0,885PL}{SE - 0,1P} \quad [\text{Ec. III.8.h.}]$$

Sustituyendo los datos se obtiene:

$$t = \frac{0,885 \cdot 0,34 \cdot 1853,36}{115 \cdot 0,85 - 0,1 \cdot 0,34} = 5,71 \text{ mm}$$

t (mm)	5,71
---------------	------

Tabla III.8.5.: Espesor mínimo del fondo.

Se añade a este espesor el factor de corrosión, 1,5 mm, quedando:

t (mm)	7,21
---------------	------

Tabla III.8.6.: Espesor mínimo del fondo + CA.

Comercialmente, el espesor que se elegirá para estos fondos será de:

t comercial (mm)	8,00
-------------------------	------

Tabla III.8.7.: Espesor comercial del fondo.

- *Altura de los cabezales y fondos:*

Según ESPECIFICACIÓN CEPSA 1101-1, la altura de los cabezales y fondos viene determinada por las siguientes expresiones:

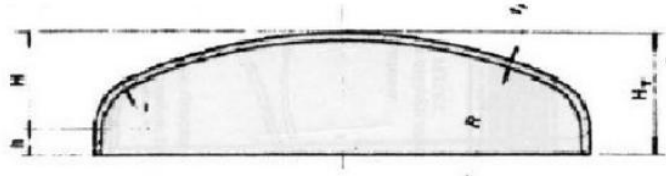


Figura III.8.1.: Fondo/Cabezal toriesférico tipo Klöpper (CEPSA ESP 1101-1).

$$H = 0,2 \cdot D_{\text{exterior}} \quad [\text{Ec. III.8.i.}]$$

$$h = 3,5 \cdot t_{\text{cabezal/fondo}} \quad [\text{Ec. III.8.j.}]$$

Sustituyendo los valores del diámetro exterior y el espesor del cabezal o el fondo, se obtiene:

$$H = 0,2 \cdot 1865,36 = 373,07 \text{ mm}$$

$$h = 3,5 \cdot 8 = 28 \text{ mm}$$

A continuación puede hallarse la altura total del cabezal/fondo:

$$H_T = H + h \quad [\text{Ec. III.8.k.}]$$

$$H_T = 373,07 + 28 = 401,07 \text{ mm}$$

H _T (mm)	401,07
---------------------	--------

Tabla III.8.8.: Altura total de los cabezales y fondos.

- *Volumen de los cabezales y fondos:*

El volumen de los cabezales y fondos toriesféricos tipo Klöpper viene dado por la siguiente expresión:

$$V = 0,0809 D_{\text{interior}}^3 \quad [\text{Ec. III.8.l.}]$$

Sustituyendo el valor del diámetro interior se obtiene:

$$V = 0,0809 \cdot 1853,36^3 = 515024487,5 \text{ mm}^3$$

$$V = 0,52 \text{ m}^3$$

V (m3)	0,52
--------	------

Tabla III.8.9.: Volumen de los cabezales y fondos.

III.9. Apoyos de los fermentadores

Los fermentadores se situarán en posición vertical apoyados sobre faldones de acero al carbono SA-285 de 1,5 metros de altura.

El empleo de faldones se aconseja especialmente cuando se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- a) El diámetro de la envolvente sea superior a 1500 mm (1,5 m)
- b) La relación altura/diámetro del recipiente sea mayor que 5
- c) Puedan esperarse vibraciones
- d) El peso del recipiente lleno de agua sea superior a los 15000 kg

En el presente proyecto, el diámetro de la envolvente supera los 1500 mm, por lo que queda justificado el uso de este tipo de soporte.

Altura faldón (m)	1,5
-------------------	-----

Tabla III.9.1.: Altura del faldón.

El faldón irá soldado al fondo inferior, de esta manera el diámetro medio del faldón y el diámetro de la envolvente coincidan. En ningún caso irá soldado al exterior de la envolvente y dispondrá de, al menos, una abertura de acceso.

Para recipientes que posean un diámetro mayor de 1 metro, deberán colocarse 4 ventilaciones de 4 pulgadas de diámetro (101,6 mm) en la parte superior del faldón, de manera que se consiga ventear el espacio que queda debajo del recipiente.

Las tuberías que atraviesen el faldón utilizarán collarines para no debilitar la función de soporte.

III.10. Altura total del fermentador

La altura total del fermentador se obtiene a partir de considerar la altura del faldón, la correspondiente al cuerpo central y la del cabezal. No se considera la altura del faldón ya que se encuentra en el interior del faldón.

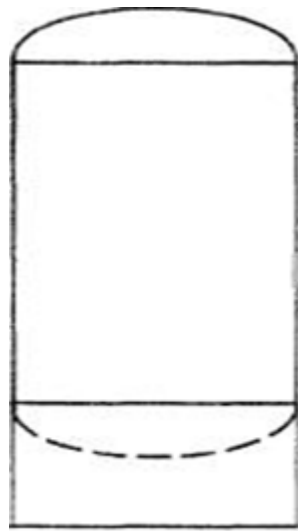


Figura III.10.1.: Fermentador con faldón.

- Altura del faldón: 1,5 metros
- Altura del cuerpo central (hallado en el apartado “Cálculos geométricos del tanque de fermentación”): 5,56 metros
- Altura del cabezal: 0,40 metros

Por lo que la altura total del fermentador es:

H total (m)	7,46
-------------	------

Tabla III.10.1.: Altura total del fermentador.

III.11. Efecto del viento sobre los fermentadores

Aunque los fermentadores se encuentran situados bajo una nave industrial, se aconseja que se considere el efecto del viento sobre estos, debido a que son las unidades más altas y sobre las cuales el viento puede ejercer una mayor presión.

A continuación se procederá a calcular el espesor mínimo de la envolvente que permite soportar la carga ejercida por el viento.

La presión de diseño del viento se determina para cualquier altura mediante la siguiente expresión:

$$P = q_s \cdot C_e \cdot C_q \quad [\text{Ec. III.11.a.}]$$

Donde:

- q_s Presión de estancamiento del viento a la altura estándar de 30 pies tal como se presenta en la siguiente tabla:

Velocidad básica del viento, mph	70	80	90	100	110	120	130
Presión q_s , lb/pie ²	13	17	21	26	31	37	44

Tabla III.11.1.: Velocidad básica del viento (Megyesy, 2001).

- C_q Coeficiente de presión que depende de la geometría del tanque:

Torres cuadradas o rectangulares.....	1.4
Torres hexagonales u octagonales.....	1.1
Torres redondas o elípticas.....	0.8
(Si hay cualquier equipo conectado a la torre, se recomienda incrementar C_q hasta 0.9 para recipientes cilíndricos.)	

Tabla III.11.2.: Coeficiente de presión (Megyesy, 2001).

- C_e Coeficiente del factor por ráfagas:

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Altura sobre el piso, pies	Coeficiente C_e	
	Exposición C	Exposición B
0- 20	1.2	0.7
20- 40	1.3	0.8
40- 60	1.5	1.0
60-100	1.6	1.1
100-150	1.8	1.3
150-200	1.9	1.4
200-300	2.1	1.6
300-400	2.2	1.8

La exposición C representa la más severa, en terreno plano y generalmente abierto, que se extiende media milla o más desde donde se localiza la torre. Las grandes plantas petroquímicas están en esta categoría. La exposición B es para un terreno en el cual hay construcciones, bosques o irregularidades en el suelo de 20 o más pies de altura que cubre 20 por ciento de área, extendiéndose una milla o más desde donde se ubica la torre.

Tabla III.11.3.: Coeficiente del factor por ráfagas (Megyesy, 2001).

La presión de estancamiento, q_s , es un parámetro que como puede observarse, depende de la velocidad básica del viento, por lo que dependerá de la zona donde se sitúe la planta diseñada en el presente proyecto.

La planta diseñada se situará en el Polígono Industrial de El Portal, en Jerez de la Frontera (Cádiz), atendiendo al siguiente mapa eólico se puede obtener la velocidad básica del viento en dicha zona:

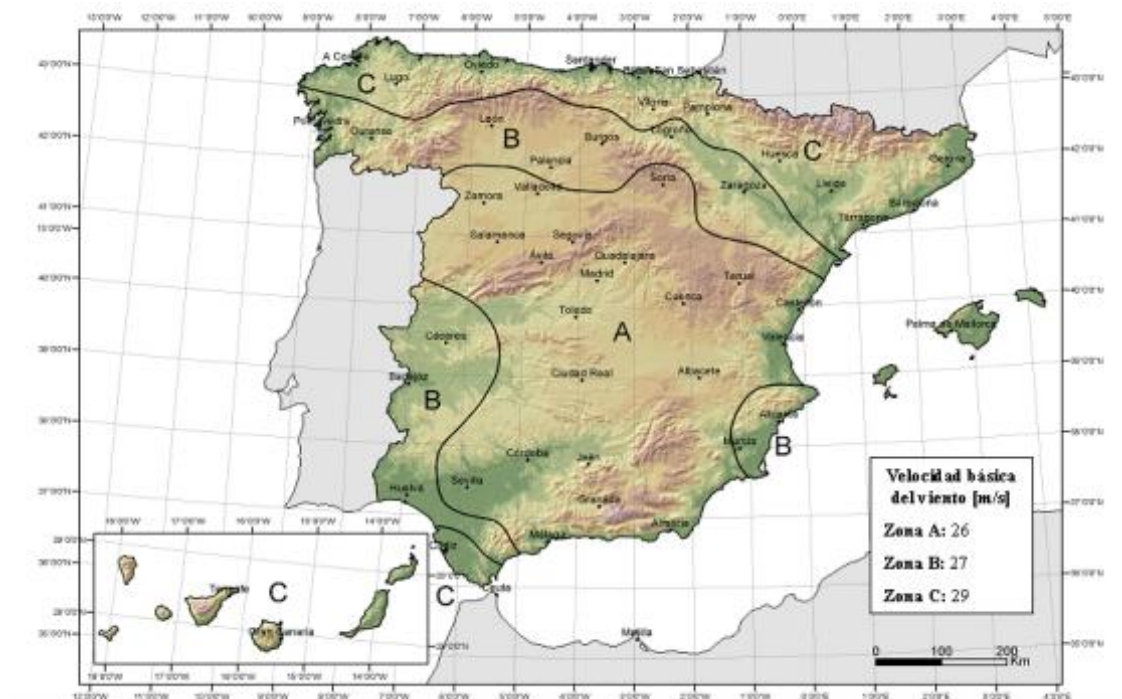


Figura III.11.1.: Mapa eólico nacional (Instituto Nacional de Meteorología).

Como puede observarse en el mapa, la planta se encontraría situada en la Zona C, donde se registra una velocidad básica del viento de 29 m/s, que corresponden aproximadamente a 70 mph , por lo que la presión de estancamiento correspondería a (ver Tabla III.11.1 del presente capítulo):

$$q_s = 13 \text{ lb/ft}^2$$

El coeficiente de presión, C_q , se ve afectado por la geometría del recipiente. Según la Tabla III.11.2 del presente capítulo, al tratarse de un recipiente cilíndrico de sección redonda o elíptica, el coeficiente de presión adquiere un valor de 0,9.

El coeficiente del factor por ráfagas, C_e , depende de la altura total del recipiente sobre el suelo y el tipo de exposición en la que se encuentra.

Según la Tabla III.11.3, y considerando una exposición tipo B, debido a que es la menos severa ya que los fermentadores se encuentran situados dentro de una nave industrial, para una altura total de exposición de 7,46 metros que corresponden a 24,46 ft el coeficiente del factor por ráfagas adquiere un valor de 0,8.

Sustituyendo los datos obtenidos se puede hallar la presión de diseño del viento:

$$P = 13 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 9,36 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

Esta presión corresponde a 45,69 kg/m².

A continuación se calculará el momento debido a la carga por viento, que viene determinado por la siguiente expresión:

$$M_T = M - h_T \cdot (V - 0,5 \cdot P \cdot D_0 \cdot h_T) \quad [\text{Ec. III.11.b.}]$$

Donde:

- M_T Momento a la altura h_T , en lb·ft
- M Momento máximo, en la base, en lb·ft

- h_T Distancia de la base a la sección bajo consideración (en este caso, desde el suelo hasta la terminación del faldón), en ft
- V Fuerza cortante total, en lb
- P Presión de diseño del viento, en lb/ft²
- D_0 Diámetro exterior del recipiente, en ft

La fuerza cortante total viene expresada por la siguiente ecuación:

$$V = P \cdot D_0 \cdot H \quad [\text{Ec. III.11.c.}]$$

La altura total del recipiente es H y es igual a 7,46 metros que corresponden a 24,46 ft. Esta altura la componen la altura del faldón (1,5 metros, que corresponden a $h_T=4,92$ ft) la altura del cuerpo central que es la envolvente y la altura del cabezal, que se han calculado anteriormente.

El diámetro exterior del recipiente es de 1,87 metros que corresponden a 6,14 ft.

Sustituyendo en la ecuación de la fuerza cortante total, se obtiene:

$$V = 13 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \cdot 6,14 \text{ ft} \cdot 24,46 \text{ ft} = 1952,4 \text{ lb}$$

Para poder hallar el momento máximo, M , se acude a la siguiente expresión:

$$M = P \cdot D_0 \cdot H \cdot h_1 \quad [\text{Ec. III.11.d.}]$$

Donde h_1 es el brazo de palanca y su valor es igual a la mitad de la altura total del recipiente:

$$h_1 = \frac{24,46}{2} = 12,23 \text{ ft}$$

Una vez hallados todos los datos, se sustituye en la ecuación del momento máximo, M , obteniéndose:

$$M = 9,36 \frac{lb}{ft^2} \cdot 6,14 ft \cdot 24,46 ft \cdot 12,23 ft = 17192,03 lb \cdot ft$$

Con todos estos datos se puede hallar ya el valor del momento a la altura hT, obteniéndose:

$$\begin{aligned} M_T &= 17192,03 lb \cdot ft - 4,92 ft \cdot \left(1952,4 lb - 0,5 \cdot 9,36 \frac{lb}{ft^2} \cdot 6,14 ft \cdot 4,92 ft \right) \\ &= 8281,21 lb \cdot ft \end{aligned}$$

Con todos estos datos, ya es posible calcular el espesor necesario para que la estructura pueda soportar la carga por viento o presión de diseño calculada. Se emplea la siguiente expresión:

$$t_{min,viento} = \frac{12 \cdot M}{r_{ext}^2 \cdot \pi \cdot S \cdot E} \quad [\text{Ec. III.11.e.}]$$

Donde:

- M Momento máximo en la base, en lb·ft.
- E Factor de soldadura.
- S Tensión máxima admisible, en psi.
- r_{ext} Radio exterior de la envolvente, en in.

Calculando el radio exterior se obtiene:

$$r_{ext} = \frac{D_0}{2} = \frac{6,14 ft}{2} = 3,07 ft \rightarrow 36,84 in$$

La tensión máxima admisible, S, corresponde a 115 MPa, que son 16679,34 psi.

El factor de soldadura corresponde a E=0,85.

El momento máximo en la base ha sido hallado en este apartado, siendo su valor de 17192,03 lb·ft.

Se sustituyen los datos, obteniéndose:

$$t_{min,viento} = \frac{12 \cdot 17192,03 \text{ lb} \cdot \text{ft}}{36,84^2 \text{ in} \cdot \pi \cdot 16679,34 \text{ psi} \cdot 0,85} = 0,0034 \text{ in}$$

Este resultado de espesor corresponde a 0,086 mm. Comparándolo con el espesor de la envolvente hallado anteriormente en este capítulo, puede considerarse a este último como despreciable.

Sabiendo esto, se considerará como espesor el calculado anteriormente por especificación que corresponde a 5,89 mm, siendo de 6 mm el espesor comercial.

Por tanto, puede asegurarse que la estructura podrá soportar la carga por viento calculada.

ANEXO IV: DISEÑO DE CONDUCCIONES: RED DE TUBERÍAS

IV.1. Diseño de la red de tuberías

La red de tuberías de la planta diseñada se estructura en distintas líneas de trasvase de líquidos, cada una de ellas formada por distintos tramos de conducción que enlazan a los equipos con los dispositivos de impulsión, además de con los accesorios y el resto de equipos.

Las distintas líneas con sus respectivos tramos, así como el líquido que transportan se muestran en la siguiente tabla:

Línea	Tramo	Fluido
1	TAMC → TAMD	Melaza concentrada
2	TAMD → PB1 PB1 → FA1 PB1 → FA2 PB1 → FA3 PB1 → FA4	Melaza diluida
3	FA1 → PB2 FA2 → PB2 FA3 → PB2 FA4 → PB2	Etanol
4	PB2 → TP1 PB2 → TP1 PB2 → TP1 PB2 → TP1	Etanol
5	TP1 → TAE	Etanol
6	TAE → PB3 TAE → PB3 TAE → PB3 TAE → PB3	Etanol
7	PB3 → FAC1 PB3 → FAC2 PB3 → FAC3 PB3 → FAC4	Etanol
8	FAC1 → PB4 FAC2 → PB4 FAC3 → PB4 FAC4 → PB4	Vinagre
9	PB4 → TP2 PB4 → TP2 PB4 → TP2 PB4 → TP2	Vinagre
10	TP2 → FT	Vinagre
11	FT → TAV	Vinagre

Tabla IV.1.a.: Líneas y tramos que componen la red de tuberías.

La nomenclatura utilizada en los distintos tramos se describe a continuación:

Tramo	Definición
TAMC → TAMD	Tramo T.A. Melaza concentrada al T.A. Melaza diluida
TAMD → PB1	Tramo T.A. Melaza diluida al parque de bombas 1
PB1 → FA1	Tramo parque de bombas 1 al fermentador alcohólico 1
PB1 → FA2	Tramo parque de bombas 1 al fermentador alcohólico 2
PB1 → FA3	Tramo parque de bombas 1 al fermentador alcohólico 3
PB1 → FA4	Tramo parque de bombas 1 al fermentador alcohólico 4
FA1 → PB2	Tramo fermentador alcohólico 1 al parque de bombas 2
FA2 → PB2	Tramo fermentador alcohólico 2 al parque de bombas 2
FA3 → PB2	Tramo fermentador alcohólico 3 al parque de bombas 2
FA4 → PB2	Tramo fermentador alcohólico 4 al parque de bombas 2
PB2 → TP1	Tramo parque de bombas 2 al tanque pulmón 1
TP1 → TAE	Tramo tanque pulmón 1 al T.A. Etanol
TAE → PB3	Tramo T.A. Etanol al parque de bombas 3
PB3 → FAC1	Tramo parque de bombas 3 al fermentador acético 1
PB3 → FAC2	Tramo parque de bombas 3 al fermentador acético 2
PB3 → FAC3	Tramo parque de bombas 3 al fermentador acético 3
PB3 → FAC4	Tramo parque de bombas 3 al fermentador acético 4
FAC1 → PB4	Tramo fermentador acético 1 al parque de bombas 4
FAC2 → PB4	Tramo fermentador acético 2 al parque de bombas 4
FAC3 → PB4	Tramo fermentador acético 3 al parque de bombas 4
FAC4 → PB4	Tramo fermentador acético 4 al parque de bombas 4
PB4 → TP2	Tramo parque de bombas 4 al tanque pulmón 2
TP2 → FT	Tramo tanque pulmón 2 al filtro tangencial
FT → TAV	Tramo filtro tangencial al T.A. Vinagre

Tabla IV.1.b.: Definición e los tramos de tubería.

Para realizar el diseño de la red de tuberías se ha utilizado la normativa ASME B31.3.: Tuberías de proceso, ya que es la más utilizada industrialmente.

El diseño sigue un orden de cálculo para poder estimar finalmente las pérdidas de carga en cada tramo:

IV.1.1. Estimación del diámetro interior de cada línea

Para poder realizar este cálculo, primero debe elegirse una velocidad media de circulación recomendada para diferentes fluidos que circulan por tuberías. En la tabla que se muestra a continuación se recogen las distintas velocidades:

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Tabla IV.1.1.a.: Velocidad media de fluidos a través de conducciones (McCabe, Smith, 2007).

Una vez se ha impuesto la velocidad de circulación y el caudal del líquido, podrá estimarse el diámetro interior teórico de la tubería. El caudal puede relacionarse con la velocidad a través de la siguiente expresión:

$$Q = v \cdot S \quad [\text{Ec. IV.1.1.a.}]$$

Donde:

Q	Caudal volumétrico del fluido, en m ³ /s
v	Velocidad de circulación en la tubería, en m/s
S	Sección de tubería, en m ²

La sección de la tubería puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$S = \pi \cdot r^2 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad [\text{Ec. IV.1.1.b.}]$$

Donde:

S	Sección de la tubería, m ²
r	Radio interior de la tubería, m
D	Diámetro interior de la tubería, m

A continuación, se sustituye la expresión de la sección en la del caudal obteniéndose:

$$Q = v \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad [\text{Ec. IV.1.1.c.}]$$

De la ecuación Ec. IV.1.1.c. se despeja el diámetro, dando lugar a la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad [\text{Ec. IV.1.1.d.}]$$

IV.1.2. Determinación del diámetro exterior de la tubería

El diámetro interior calculado en el apartado anterior sirve de referencia para poder estimar el diámetro exterior de la conducción. Para poder realizar esta selección, es necesario hacer uso de unas tablas que muestran los diversos diámetros nominales existentes para conducciones comerciales. De esta forma, a cada valor de diámetro interior le corresponde un valor de diámetro exterior.

A la hora de elegir el diámetro exterior, se elige el diámetro interior inmediatamente mayor al calculado en el apartado anterior. En las siguientes tablas se muestran las distintas medidas nominales que existen comercialmente:

Nominal pipe size, in	Outside diameter, in	Schedule no.	Wall thickness, in	Inside diameter, in	Cross-sectional area		Circumference, ft, or surface, ft ² /ft of length		Capacity at 1-ft/s velocity		Weight of plain-end pipe, lb/ft
					Metal, in ²	Flow, ft ²	Outside	Inside	U.S. gal/min	lb/h water	
1/8	0.405	10S	.049	0.307	0.055	0.00051	0.106	0.0804	0.231	115.5	0.19
		40ST, 40S	.068	.269	.072	.00040	.106	.0705	.179	89.5	.24
		80XS, 80S	.095	.215	.093	.00025	.106	.0563	.113	56.5	.31
1/4	0.540	10S	.065	.410	.097	.00092	.141	.107	.412	206.5	.33
		40ST, 40S	.088	.364	.125	.00072	.141	.095	.323	161.5	.42
		80XS, 80S	.119	.302	.157	.00050	.141	.079	.224	112.0	.54
3/8	0.675	10S	.065	.545	.125	.00162	.177	.143	.727	363.5	.42
		40ST, 40S	.091	.493	.167	.00133	.177	.129	.596	295.0	.57
		80XS, 80S	.126	.423	.217	.00098	.177	.111	.440	220.0	.74
1/2	0.840	5S	.065	.710	.158	.00275	.220	.186	1.234	617.0	.54
		10S	.083	.674	.197	.00248	.220	.176	1.112	556.0	.67
		40ST, 40S	.109	.622	.250	.00211	.220	.163	0.945	472.0	.85
		80XS, 80S	.147	.546	.320	.00163	.220	.143	0.730	365.0	1.09
		160	.188	.464	.385	.00117	.220	.122	0.527	263.5	1.31
		XX	.294	.252	.504	.00035	.220	.066	0.155	77.5	1.71
3/4	1.050	5S	.065	.920	.201	.00461	.275	.241	2.072	1036.0	0.69
		10S	.083	.884	.252	.00426	.275	.231	1.903	951.5	0.86
		40ST, 40S	.113	.824	.333	.00371	.275	.216	1.665	832.5	1.13
		80XS, 80S	.154	.742	.433	.00300	.275	.194	1.345	672.5	1.47
		160	.219	.612	.572	.00204	.275	.160	0.917	458.5	1.94
		XX	.308	.434	.718	.00103	.275	.114	0.461	230.5	2.44
1	1.315	5S	.065	1.185	.255	.00768	.344	.310	3.449	1725	0.87
		10S	.109	1.097	.413	.00656	.344	.287	2.946	1473	1.40
		40ST, 40S	.133	1.049	.494	.00600	.344	.275	2.690	1345	1.68
		80XS, 80S	.179	0.957	.639	.00499	.344	.250	2.240	1120	2.17
		160	.250	0.815	.836	.00362	.344	.213	1.625	812.5	2.84
		XX	.358	0.599	1.076	.00196	.344	.157	0.878	439.0	3.66
1 1/4	1.660	5S	.065	1.530	0.326	.01277	.435	.401	5.73	2865	1.11
		10S	.109	1.442	0.531	.01134	.435	.378	5.09	2545	1.81
		40ST, 40S	.140	1.380	0.668	.01040	.435	.361	4.57	2285	2.27
		80XS, 80S	.191	1.278	0.881	.00891	.435	.335	3.99	1995	3.00
		160	.250	1.160	1.107	.00734	.435	.304	3.29	1645	3.76
		XX	.382	0.896	1.534	.00438	.435	.235	1.97	985	5.21
1 1/2	1.900	5S	.065	1.770	0.375	.01709	.497	.463	7.67	3835	1.28
		10S	.109	1.682	0.614	.01543	.497	.440	6.94	3465	2.09
		40ST, 40S	.145	1.610	0.800	.01414	.497	.421	6.34	3170	2.72
		80XS, 80S	.200	1.500	1.069	.01225	.497	.393	5.49	2745	3.63
		160	.281	1.338	1.429	.00976	.497	.350	4.38	2190	4.86
		XX	.400	1.100	1.885	.00660	.497	.288	2.96	1480	6.41

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

1¼	1.660	5S	.065	1.530	0.326	.01277	.435	.401	5.73	2865	1.11
		10S	.109	1.442	0.531	.01134	.435	.378	5.09	2545	1.81
		40ST, 40S	.140	1.380	0.668	.01040	.435	.361	4.57	2285	2.27
		80XS, 80S	.191	1.278	0.881	.00891	.435	.335	3.99	1995	3.00
		160	.250	1.160	1.107	.00734	.435	.304	3.29	1645	3.76
		XX	.382	0.896	1.534	.00438	.435	.235	1.97	985	5.21
1½	1.900	5S	.065	1.770	0.375	.01709	.497	.463	7.67	3835	1.28
		10S	.109	1.682	0.614	.01543	.497	.440	6.94	3465	2.09
		40ST, 40S	.145	1.610	0.800	.01414	.497	.421	6.34	3170	2.72
		80XS, 80S	.200	1.500	1.069	.01225	.497	.393	5.49	2745	3.63
		160	.281	1.338	1.429	.00976	.497	.350	4.38	2190	4.86
		XX	.400	1.100	1.885	.00660	.497	.288	2.96	1480	6.41
2	2.375	5S	.065	2.245	0.472	.02749	.622	.588	12.34	6170	1.61
		10S	.109	2.157	0.776	.02538	.622	.565	11.39	5695	2.64
		40ST, 40S	.154	2.067	1.075	.02330	.622	.541	10.45	5225	3.65
		80ST, 80S	.218	1.939	1.477	.02050	.622	.508	9.20	4600	5.02
		160	.344	1.687	2.195	.01552	.622	.436	6.97	3485	7.46
		XX	.436	1.503	2.656	.01232	.622	.393	5.53	2765	9.03
2½	2.875	5S	.083	2.709	0.728	.04003	.753	.709	17.97	8985	2.48
		10S	.120	2.635	1.039	.03787	.753	.690	17.00	8500	3.53
		40ST, 40S	.203	2.469	1.704	.03322	.753	.647	14.92	7460	5.79
		80XS, 80S	.276	2.323	2.254	.02942	.753	.608	13.20	6600	7.66
		160	.375	2.125	2.945	.02463	.753	.556	11.07	5535	10.01
		XX	.552	1.771	4.028	.01711	.753	.464	7.68	3840	13.69
3	3.500	5S	.083	3.334	0.891	.06063	.916	.873	27.21	13,605	3.03
		10S	.120	3.260	1.274	.05796	.916	.853	26.02	13,010	4.33
		40ST, 40S	.216	3.068	2.228	.05130	.916	.803	23.00	11,500	7.58
		80XS, 80S	.300	2.900	3.016	.04587	.916	.759	20.55	10,275	10.25
		160	.438	2.624	4.213	.03755	.916	.687	16.86	8430	14.32
		XX	.600	2.300	5.466	.02885	.916	.602	12.95	6475	18.58
3½	4.0	5S	.083	3.834	1.021	.08017	1.047	1.004	35.98	17,990	3.48
		10S	.120	3.760	1.463	.07711	1.047	0.984	34.61	17,305	4.97
		40ST, 40S	.226	3.548	2.680	.06870	1.047	0.929	30.80	15,400	9.11
		80XS, 80S	.318	3.364	3.678	.06170	1.047	0.881	27.70	13,850	12.50
		5S	.083	4.334	1.152	.10245	1.178	1.135	46.0	23,000	3.92
		10S	.120	4.260	1.651	.09898	1.178	1.115	44.4	22,200	5.61
4	4.5	40ST, 40S	.237	4.026	3.17	.08840	1.178	1.054	39.6	19,800	10.79
		80XS, 80S	.337	3.826	4.41	.07986	1.178	1.002	35.8	17,900	14.98

Nominal pipe size, in	Outside diameter, in	Schedule no.	Wall thickness, in	Inside diameter, in	Cross-sectional area		Circumference, ft, or surface, ft²/ft of length		Capacity at 1-ft/s velocity		Weight of plain-end pipe, lb/ft	
					Metal, in²	Flow, ft²	Outside	Inside	U.S. gal/ min	lb/h water		
5	5.563	120	0.438	3.624	5.58	0.07170	1.178	0.949	32.2	16,100	19.00	
		160	.531	3.438	6.62	.06647	1.178	0.900	28.9	14,450	22.51	
		XX	.674	3.152	8.10	.05419	1.178	0.825	24.3	12,150	27.54	
		5S	.109	5.345	1.87	.1558	1.456	1.399	69.9	34,950	6.36	
		10S	.134	5.295	2.29	.1529	1.456	1.386	68.6	34,300	7.77	
		40ST, 40S	.258	5.047	4.30	.1390	1.456	1.321	62.3	31,150	14.62	
		80XS, 80S	.375	4.813	6.11	.1263	1.456	1.260	57.7	28,850	20.78	
		120	.500	4.563	7.95	.1136	1.456	1.195	51.0	25,500	27.04	
		160	.625	4.313	9.70	.1015	1.456	1.129	45.5	22,750	32.96	
6	6.625	XX	.750	4.063	11.34	.0900	1.456	1.064	40.4	20,200	38.55	
		5S	.109	6.407	2.23	.2239	1.734	1.677	100.5	50,250	7.60	
		10S	.134	6.357	2.73	.2204	1.734	1.664	98.9	49,450	9.29	
		40ST, 40S	.280	6.065	5.58	.2006	1.734	1.588	90.0	45,000	18.97	
		80XS, 80S	.432	5.761	8.40	.1810	1.734	1.508	81.1	40,550	28.57	
		120	.562	5.501	10.70	.1650	1.734	1.440	73.9	36,950	36.39	
		160	.719	5.187	13.34	.1467	1.734	1.358	65.9	32,950	45.34	
		XX	.864	4.897	15.64	.1308	1.734	1.282	58.7	29,350	53.16	

Tabla IV.1.2.a.: Dimensiones nominales de tuberías de acero al carbono y acero inoxidable (ASME B31.3.)

IV.1.3. Estimación del espesor de tubería

Para poder obtener el espesor mínimo requerido de la tubería para soportar la presión interna que se está ejerciendo, hay que utilizar las ecuaciones que facilita el Código ASME B31.3., según el cual, el espesor mínimo de la tubería se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$t = \frac{PD_0}{2(SE + PY)} + C \quad [\text{Ec. IV.1.3.a.}]$$

Donde:

P	Presión de diseño, en MPa
Do	Diámetro exterior de la tubería, en mm (en tablas)
S	Tensión máxima admisible del material a la Tª de diseño, en Mpa
E	Eficiencia de soldadura
C	Factor de corrosión, en mm
Y	Coeficiente que depende del material de la tubería y la Tª de diseño

Para poder conocer el espesor mínimo requerido, es necesario calcular primero los parámetros que aparecen en la ecuación [Ec. IV.1.3.a.].

IV.1.3.1. Presión de diseño, P

La presión de diseño de las tuberías será la misma presión considerada en el caso de los equipos sometidos a presión (fermentadores), calculada en el Anexo III del presente proyecto:

P (kg/cm²)	3,5
P (MPa)	0,34

IV.1.3.2. Temperatura de diseño, T

La temperatura de diseño también será la misma que la calculada en el Anexo III del presente proyecto:

$$T = T_{\text{operación}} + 20^{\circ}\text{C} \quad [\text{Ec. IV.1.3.2.a.}]$$

Por tanto, la temperatura de diseño para el cálculo de las tuberías es:

T (°C)	50
---------------	----

Teniendo en cuenta que la temperatura de operación será de 30°C.

La temperatura de diseño para las tuberías que transportan la materia prima hasta los fermentadores alcohólicos será la siguiente:

T (°C)	40
---------------	----

Considerando en este caso que la temperatura de operación es la temperatura ambiente, 20°C.

IV.1.3.3. Tensión máxima admisible, S

La tensión máxima admisible tendrá un valor u otro. Este parámetro depende del material de construcción de la tubería y de la temperatura de diseño. Las tuberías de acero inoxidable serán las que conduzcan los líquidos que provienen de los fermentadores, que tendrán una temperatura de diseño de 50°C. Las tuberías construidas en acero al carbono serán las que transporten las melazas, teniendo una temperatura de diseño de 40°C.

Una vez conocidos los materiales de construcción y las temperaturas de diseño, se acude a la Tabla A-1 del Código ASME B31.3. y se hallan las tensiones máximas admisibles:

SA-240 316L, 50°C	
S (psi)	16700
S (MPa)	115,14

SA-285, 40°C	
S (psi)	14600
S (MPa)	100,67

IV.1.3.4. Eficiencia de soldadura, E

La eficiencia de soldadura toma el valor de la unidad cuando se trata de una tubería sin costuras:

E	1
----------	---

IV.1.3.5. Factor de corrosión, C

Según las especificaciones CEPSA ESP 1101-01, los factores de corrosión son:

- Para aceros inoxidables:

C (mm)	1,5
---------------	-----

- Para aceros al carbono:

C (mm)	3
---------------	---

IV.1.3.6. Factor Y

El factor Y viene determinado por la siguiente tabla:

Materiales	Temperatura, °C (°F)					
	≤ 482 (900 y menores)	510 (950)	538 (1.000)	566 (1.050)	593 (1.100)	≤ 621 (1.150 y mayores)
Aceros Ferríticos	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7
Aceros Austeníticos	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7
Otros metales ductiles	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Hierro Fundido	0,0	---	---	---	---	---

Tabla IV.1.3.5.a.: Valores del Factor Y (ASME B31.3.).

Todas las tuberías de la planta tendrán una temperatura de diseño que no superarán los 900°F (482,22°C), además, todas las tuberías estarán construidas en acero, por lo que el factor Y será:

Y	0,4
----------	-----

Una vez estimados todos los parámetros pueden calcularse los espesores mínimos requeridos.

IV.1.3.7. Estimación del espesor comercial

Una vez conocido el espesor mínimo requerido, se acude a la tabla IV.1.2.a., donde se muestra que para cada diámetro interior viene asociado unos espesores y unos diámetros exteriores. Se tomará el valor de espesor inmediatamente mayor al obtenido de la ecuación [Ec.IV.1.3.a.].

IV.1.4. Cálculo de las pérdidas de carga en tuberías

Para poder conocer las pérdidas de carga que se dan en la red e tuberías, es necesario conocer una serie de parámetros, como son:

- Diámetro interior real.
- Velocidad real del fluido por la tubería.
- Velocidad másica del fluido por la tubería.
- Régimen de flujo.
- Pérdida de carga por metro lineal de tubería.

Una vez conocidas estas variables, se procede a calcular las pérdidas de carga totales mediante la ecuación de Darcy:

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L + L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [\text{Ec. IV.1.4.a.}]$$

Donde:

h_f (m)	Pérdidas de carga totales en la tubería
$(4f)$	Factor de fricción (Determinado en la gráfica de Moody)
L (m)	Longitud de tramo recto de tubería
L_{eq} (m)	Longitud equivalente de accesorios
v	Velocidad lineal del fluido a través de la tubería
g	Aceleración de la gravedad

IV.1.4.1. Diámetro interior real

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_i = D_o - 2t \quad [\text{Ec. IV.1.4.1.a.}]$$

Donde:

D_i	Diámetro interior real de la tubería
D_o	Diámetro exterior comercial de la tubería
t	Espesor comercial de la tubería

IV.1.4.2. Velocidad real del fluido por la tubería

Con el diámetro interior real calculado en el apartado anterior y conociendo el caudal que circulará a través de la tubería, puede determinarse la velocidad real del fluido a través de la siguiente expresión:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad [\text{Ec. IV.1.4.2.a.}]$$

IV.1.4.3. Velocidad másica del fluido por la tubería

La velocidad másica del fluido por la tubería se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$G = \rho v \quad [\text{Ec. IV.1.4.3.a.}]$$

Donde:

ρ	Densidad del fluido que circula por la conducción, kg/m ³
v	Velocidad real del fluido en la tubería, m/s

IV.1.4.4. Determinación del régimen de flujo: número de Reynolds

Para conocer si el fluido que circula por la conducción se encuentra en régimen laminar o turbulento, es necesario conocer el valor del número de Reynolds, que viene determinado por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{v D_i \rho}{\mu} \quad [\text{Ec. IV.1.4.4.a.}]$$

Donde:

v	Velocidad real en la conducción, m/s
ρ	Densidad del fluido que circula por la conducción, kg/m ³
D_i	Diámetro interior real de la tubería, m
μ	Viscosidad del fluido que circula por la tubería, Pa·s

IV.1.4.5. Pérdida de carga por metro lineal de tubería

Se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \frac{f G^2 L}{D_i \rho} \quad [\text{Ec. IV.1.4.5.a.}]$$

Siendo:

f	Factor de fricción (determinado a través de la gráfica de Moody)
G	Velocidad másica del fluido en la conducción, kg/(m ² ·s)
D_i	Diámetro interior real de la tubería, m
L	Longitud de la tubería, m
ρ	Densidad del fluido que circula por la conducción, kg/m ³

Una vez conocidos todos los parámetros, se procederá a calcular las pérdidas de carga totales en las tuberías, mediante la ecuación de Darcy.

IV.1.4.6. Pérdidas de carga totales

Las pérdidas de carga totales serán:

$$\Delta P_{TOTAL} = \Delta P_{TRAMO RECTO TUBERÍA} + \Delta P_{ACCESORIOS}$$

Y se calcularán mediante la ecuación de Darcy, ya descrita anteriormente junto a los parámetros que la componen:

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L + L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

De esta ecuación es necesario conocer el factor de fricción (4f), anteriormente hallado en la determinación del régimen de flujo, la longitud de la tubería, la velocidad

real del fluido anteriormente hallada, la aceleración de la gravedad y la longitud equivalente de los accesorios.

Las longitudes equivalentes de los accesorios se encuentran tabuladas en la bibliografía. A continuación se muestran dos tablas de donde se han tomado estos valores:

Pérdidas en codos y accesorios (longitud equivalente de tubería recta, en pies)														
Diámetro interior (in)	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
Codo de 90°	2-2,5	4-5	6-7	9-10	10-11	12-14	18	27	26	31	35	40	45	52
Codo largo de 90°	1,5-2	2,5-4	5	6-7	7-8	9-11	12-14	16-17	20	23	27	30	34	40
Codo de 45°	1,5	2,5	3,5	4,5	6	7,5	10	12,5	15	17	19	21	23	28
Codo largo de 45°	1	1,5	2	2,7	3,5	4	5	6	7	9	10	12	14	16
Curva de 180°						36	46	60	75					
Curva de 180°, gran radio						20	25	30	40					
Curvas de 90° Soldadas														
0,5		7	10	12	15	19	25	32	38	44	50	56		
1		3	5	6	7	8	11	14	17	20	23	26		
1,5		2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18		
2		1	2	3	3,5	4	6	8	10	12	14	16		
3		1	1,5	2,5	3	4	6	7	9	11	13	15		
Tes	5,5	10	15	20	25	32	41	55	65	75	85	100	115	130
V. de compuerta abierta	0,6	1,25	1,7	2,3	2,9	3,5	4,5	6	7	8	9	10	12	14
cerrada 1/4		7	10	13	16	19	26	33	40					
cerrada 1/2		33	50	70	85	100	130	160	190					
cerrada 3/4		140	200	280	340	400	540	700	800					
Válvula esférica	27	56	80	107	133	160	215	270	320	375	430	480	540	600
Válvula de retención	7	13	20	27	33	40	53	67	80	93	107	120	135	160
Válvula de pie	2	4	6	8	10	12	16	20	24	28	32	36	40	48
Colador	4	5	6	8	10	11	13	16	18	21	24	30	35	40
Entrada típica	1,5	3	4,5	6	7,5	9	12	15	18	21	24	27	30	35

Tabla IV.1.4.6.a.: Longitudes equivalentes de accesorios (Martín Minchero, Muñoz Cueto, 2006).

Codos	K	L_{eq}/D
Codo de radio corto	0,9	32
Codo de radio medio	0,75	27
Codo de radio largo	0,60	20
Codo de 45°	0,42	15
Otros accesorios	K	L_{eq}/D
Válvula de globo, completamente abierta	10	350
Válvula de ángulo, completamente abierta	5	175
Válvula de compuerta		
- Completamente abierta	0,19	7
- entreabierta	2,06	72
Empalme en T normal	1,8	67

Tabla IV.1.4.6.b.: Longitudes equivalentes de accesorios (Martín Minchero, Muñoz Cueto, 2006).

IV.1.5. Resultados del diseño de tuberías

A continuación se muestran unos datos de partida para el cálculo de tuberías:

Línea	Tramo	Fluido	S (MPa)	Q (m³/s)	P (MPa)
1	TAMC → TAMD	Melaza concentrada	100,67	1,00E-03	0,34
2	TAMD → PB1	Melaza diluida	100,67	8,33E-04	0,34
	PB1 → FA1		100,67	8,33E-04	0,34
	PB1 → FA2		100,67	8,33E-04	0,34
	PB1 → FA3		100,67	8,33E-04	0,34
	PB1 → FA4		100,67	8,33E-04	0,34
	PB1 → FA4		100,67	8,33E-04	0,34
3	FA1 → PB2	Etanol	115,14	3,33E-03	0,34
	FA2 → PB2		115,14	3,33E-03	0,34
	FA3 → PB2		115,14	3,33E-03	0,34
	FA4 → PB2		115,14	3,33E-03	0,34
4	PB2 → TP1	Etanol	115,14	3,33E-03	0,34
	PB2 → TP1		115,14	3,33E-03	0,34
	PB2 → TP1		115,14	3,33E-03	0,34
	PB2 → TP1		115,14	3,33E-03	0,34
5	TP1 → TAE	Etanol	115,14	1,33E-02	0,34
6	TAE → PB3	Etanol	115,14	8,33E-04	0,34
	TAE → PB3		115,14	8,33E-04	0,34
	TAE → PB3		115,14	8,33E-04	0,34
	TAE → PB3		115,14	8,33E-04	0,34
7	PB3 → FAC1	Etanol	115,14	8,33E-04	0,34
	PB3 → FAC2		115,14	8,33E-04	0,34
	PB3 → FAC3		115,14	8,33E-04	0,34
	PB3 → FAC4		115,14	8,33E-04	0,34
8	FAC1 → PB4	Vinagre	115,14	3,33E-03	0,34
	FAC2 → PB4		115,14	3,33E-03	0,34
	FAC3 → PB4		115,14	3,33E-03	0,34
	FAC4 → PB4		115,14	3,33E-03	0,34
9	PB4 → TP2	Vinagre	115,14	3,33E-03	0,34
	PB4 → TP2		115,14	3,33E-03	0,34
	PB4 → TP2		115,14	3,33E-03	0,34
	PB4 → TP2		115,14	3,33E-03	0,34
10	TP2 → FT	Vinagre	115,14	4,44E-03	0,34
11	FT → TAV	Vinagre	115,14	4,44E-03	0,34

Tabla IV.1.5.a.: Datos de partida para el cálculo de tuberías.

➤ **Línea 1. Tramo 1.: Tanque de almacenamiento de melaza concentrada →
Tanque de almacenamiento de melaza diluida.**

- Estimación del diámetro interior:

El diámetro interior se determina mediante la ecuación [Ec. IV.1.1.d.):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

Conocido el caudal (0,001 m³/s) e imponiendo una velocidad de circulación del fluido de 1,2 m/s, se halla el diámetro interior de la tubería:

D (m)	0,033
--------------	-------

D (in)	1,28
---------------	------

Una vez calculado el diámetro interior, se acude a la tabla IV.1.2.a. donde se selecciona el diámetro inmediatamente mayor al hallado:

D_{nominal} (in)	1,5
---------------------------------	-----

A este diámetro nominal le corresponde un diámetro exterior:

D_{ext} (in)	1,9
D_{ext} (mm)	48,3

- Cálculo del espesor mínimo:

Una vez conocido el diámetro exterior de la tubería, puede calcularse el espesor mínimo de esta mediante la ecuación [Ec. IV.1.3.a.]:

$$t = \frac{PD_0}{2(SE + PY)} + C$$

Donde:

P (MPa)	0,34
D_o (mm)	48,3
E	1
Y	0,4

C (mm)	3
S (MPa)	100,67
A. al Carbono	

Por lo que el espesor mínimo de la tubería sería:

t (mm)	3,08
---------------	------

Nuevamente, se acude a la tabla IV.1.2.a. para seleccionar el espesor de la tubería inmediatamente mayor al calculado. Este viene dado por el número de cédula o Schedule. En este caso, para una tubería de diámetro nominal 1 ½ se selecciona un espesor de:

testáandar (in)	0,145	Schedule no.
testáandar (mm)	3,683	40S

- Cálculo del diámetro interior real:

A continuación, habrá que determinar cuál es el diámetro interior real de la conducción, que viene dado por la ecuación [Ec. IV.1.4.1.a.]:

$$D_i = D_0 - 2t$$

Obteniendo:

Di (m)	0,04
Di (mm)	40,93

- Cálculo de la velocidad real del fluido y de la velocidad másica:

Una vez hallado el diámetro interior real de la conducción, es posible calcular la velocidad real del fluido a través de la tubería, mediante la ecuación [Ec. IV.1.4.2.a.]:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Conocidos todos los parámetros, se obtiene:

v (m/s)	0,76
---------	------

También es posible conocer la velocidad másica del fluido, sabiendo cual es su velocidad lineal y su densidad (en el caso de la melaza concentrada: 1370 kg/m³), mediante la ecuación [Ec. IV.1.4.3.a.]:

$$G = \rho v$$

Obteniéndose:

G (kg/m²·s)	1041,03
-------------	---------

- Determinación del régimen de flujo:

El régimen de flujo puede conocerse a través del número de Reynolds, que viene dado por la ecuación [Ec. IV.1.4.4.a.):

$$Re = \frac{v D_i \rho}{\mu}$$

Conocidos el diámetro interior real, la velocidad real del fluido, la densidad de las melazas y la viscosidad (0,5 Pa·s), puede hallarse el régimen de flujo:

Re	85,23
----	-------

- Si $Re \leq 2100$ el régimen es laminar.
- Si $2100 \leq Re \leq 3000$ el régimen es de transición.
- Si $Re > 3000$ se trata de régimen turbulento.

Por tanto, se trata de régimen laminar.

- Determinación de las pérdidas de carga en la tubería:

Antes de calcular las pérdidas de carga totales de la conducción, interesa conocer primero cuáles son las pérdidas de carga aproximadas que se dan por metro lineal de tubería, que pueden determinarse a través de la ecuación [Ec. IV.1.4.5.a.):

$$\Delta P = \frac{f G^2 L}{D_i \rho}$$

Donde f es el factor de fricción que se puede conocer a través de la gráfica de Moody conociendo la rugosidad relativa del material de la tubería y el número de Reynolds. La rugosidad del material es:

ϵ (mm)	0,045	0,002
	A. al Carbono	A. Inox.

Y conocido el diámetro interior real de la conducción, puede hallarse la rugosidad relativa del material:

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Di (mm)	40,93
Di (m)	0,04

ϵ/D (A. Carb.)	0,001
ϵ/D (A. Inox.)	4,9E-05

El material que se utilizará en este caso es acero al carbono SA-285, por lo que su rugosidad relativa será de 0,001.

El número de Reynolds se halló anteriormente:

Re	85,23
----	-------

Una vez conocido el número de Reynolds y la rugosidad relativa del material, puede hallarse el factor de fricción mediante la gráfica de Moody:

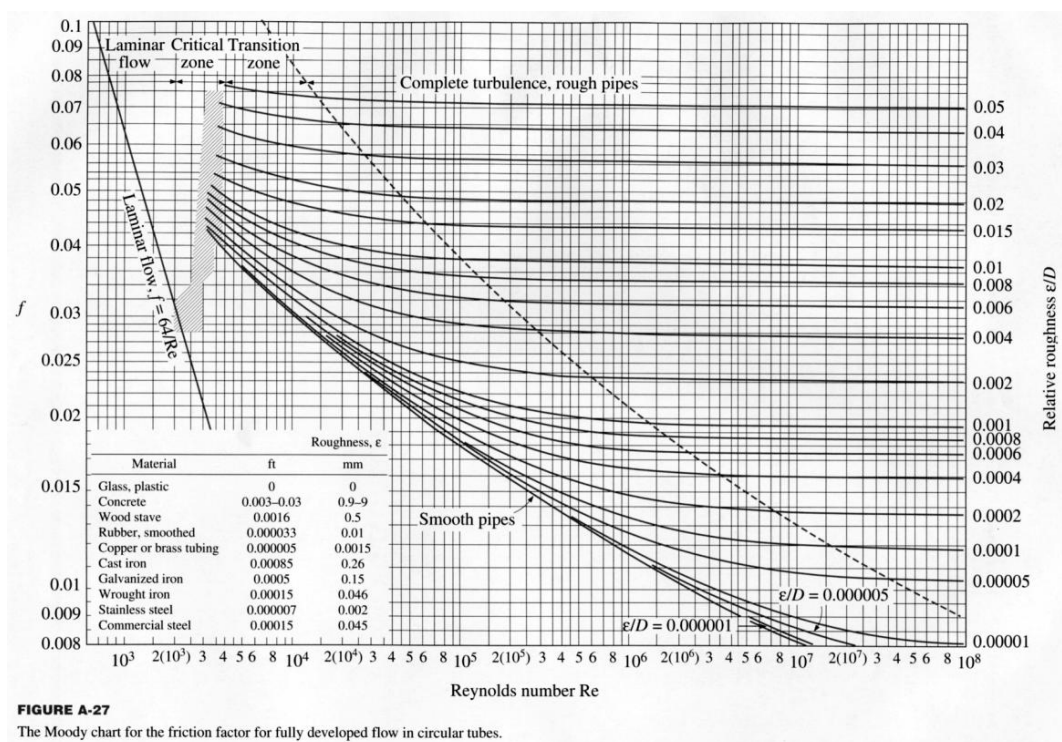


FIGURE A-27
The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

Figura IV.1.5.a.: Gráfica de Moody.

Puede verse que el factor de fricción es independiente de la rugosidad relativa del material y únicamente depende del número de Reynolds, aplicándose la siguiente ecuación:

$$f = \frac{64}{Re} \quad [\text{Ec. IV.1.5.a.}]$$

Por lo que el valor del factor de fricción sería:

f	0,83
----------	------

Una vez conocidos todos los parámetros de la ecuación [Ec. IV.1.4.5.a.], pueden calcularse las pérdidas de carga por metro lineal de tubería:

ΔP (Pa)	16039,76
ΔP (kPa/m)	16,04

A continuación se calculará la longitud equivalente total de los accesorios presentes en la conducción haciendo uso de las tablas IV.1.4.6.a. y IV.1.4.6.b., obteniendo así:

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS					
Cantidad	Accesorios	Leq/D	Dint (m)	Leq (m)	Leq total (m)
2	Codo radio largo 90º	20	0,04	0,82	1,64
1	Válvula regulación	350	0,04	14,33	14,33
1	Válvula corte flujo	7	0,04	0,29	0,29
1	Válvula retención	45	0,04	1,84	1,84
					18,09

Tabla IV.1.5.b.: Longitud equivalente total de los accesorios presentes en la conducción.

Leq total (m)	18,09
----------------------	-------

La longitud de tramo recto de tubería es de 2 metros:

Ltubería (m)	2
---------------------	---

Finalmente, conocidos todos los parámetros de la ecuación de Darcy, se procede a calcular las pérdidas de carga producidas en la conducción:

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L + L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = 0,83 \cdot \frac{2 + 18,09}{0,04} \cdot \frac{0,76^2}{2 \cdot 9,81} = 12,27 \text{ m}$$

Los demás tramos que componen la red de tuberías serán calculados de manera idéntica a la descrita anteriormente, por lo que a continuación se mostrará varias tablas con los resultados obtenidos en cada uno de ellos:

Línea	Tramo	D _{nom} (in)	D _{ext} (in)	D _{ext} (mm)	t (mm)	Schedule	t estándar (mm)	t estándar (in)
1	TAMC → TAMD	1,50	1,90	48,30	3,08	40S	3,68	0,145
2	TAMD → PB1	1,25	1,66	42,20	3,07	40S	3,56	0,140
	PB1 → FA1	1,25	1,66	42,20	3,07	40S	3,56	0,140
	PB1 → FA2	1,25	1,66	42,20	3,07	40S	3,56	0,140
	PB1 → FA3	1,25	1,66	42,20	3,07	40S	3,56	0,140
	PB1 → FA4	1,25	1,66	42,20	3,07	40S	3,56	0,140
3	FA1 → PB2	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
	FA2 → PB2	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
	FA3 → PB2	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
	FA4 → PB2	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
4	PB2 → TP1	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
	PB2 → TP1	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
	PB2 → TP1	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
	PB2 → TP1	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
5	TP1 → TAE	5,00	5,56	141,30	1,71	5S	2,77	0,109
6	TAE → PB3	1,25	1,66	42,20	1,56	5S	1,65	0,065
	TAE → PB3	1,25	1,66	42,20	1,56	5S	1,65	0,065
	TAE → PB3	1,25	1,66	42,20	1,56	5S	1,65	0,065
	TAE → PB3	1,25	1,66	42,20	1,56	5S	1,65	0,065
7	PB3 → FAC1	1,25	1,66	42,20	1,56	5S	1,65	0,065
	PB3 → FAC2	1,25	1,66	42,20	1,56	5S	1,65	0,065
	PB3 → FAC3	1,25	1,66	42,20	1,56	5S	1,65	0,065
	PB3 → FAC4	1,25	1,66	42,20	1,56	5S	1,65	0,065
8	FAC1 → PB4	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
	FAC2 → PB4	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
	FAC3 → PB4	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
	FAC4 → PB4	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
9	PB4 → TP2	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
	PB4 → TP2	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
	PB4 → TP2	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
	PB4 → TP2	2,50	2,88	73,00	1,61	5S	2,11	0,083
10	TP2 → FT	3,00	3,50	88,90	1,63	5S	2,11	0,083
11	FT → TAV	3,00	3,50	88,90	1,63	5S	2,11	0,083

Tabla IV.1.5.c.: Diámetros y espesores calculados y estandarizados.

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Línea	Tramo	Fluido	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$D_{i \text{ real}}$ (mm)	$D_{i \text{ real}}$ (m)	$v \text{ real}$ (m/s)	G (kg/m ² ·s)
1	TAMC → TAMD	Melaza concentrada	1370,00	0,500	40,93	0,04	0,76	1041,03
2	TAMD → PB1	Melaza diluida	1000,00	0,001	35,09	0,04	0,86	861,81
	PB1 → FA1	Melaza diluida	1000,00	0,001	35,09	0,04	0,86	861,81
	PB1 → FA2	Melaza diluida	1000,00	0,001	35,09	0,04	0,86	861,81
	PB1 → FA3	Melaza diluida	1000,00	0,001	35,09	0,04	0,86	861,81
	PB1 → FA4	Melaza diluida	1000,00	0,001	35,09	0,04	0,86	861,81
3	FA1 → PB2	Etanol	978,75	0,001	68,78	0,07	0,90	877,99
	FA2 → PB2	Etanol	978,75	0,001	68,78	0,07	0,90	877,99
	FA3 → PB2	Etanol	978,75	0,001	68,78	0,07	0,90	877,99
	FA4 → PB2	Etanol	978,75	0,001	68,78	0,07	0,90	877,99
4	PB2 → TP1	Etanol	978,75	0,001	68,78	0,07	0,90	877,99
	PB2 → TP1	Etanol	978,75	0,001	68,78	0,07	0,90	877,99
	PB2 → TP1	Etanol	978,75	0,001	68,78	0,07	0,90	877,99
	PB2 → TP1	Etanol	978,75	0,001	68,78	0,07	0,90	877,99
5	TP1 → TAE	Etanol	980,43	0,001	135,76	0,14	0,92	903,03
6	TAE → PB3	Etanol	980,43	0,001	38,90	0,04	0,70	687,53
	TAE → PB3	Etanol	980,43	0,001	38,90	0,04	0,70	687,53
	TAE → PB3	Etanol	980,43	0,001	38,90	0,04	0,70	687,53
	TAE → PB3	Etanol	980,43	0,001	38,90	0,04	0,70	687,53
7	PB3 → FAC1	Etanol	980,43	0,001	38,90	0,04	0,70	687,53
	PB3 → FAC2	Etanol	980,43	0,001	38,90	0,04	0,70	687,53
	PB3 → FAC3	Etanol	980,43	0,001	38,90	0,04	0,70	687,53
	PB3 → FAC4	Etanol	980,43	0,001	38,90	0,04	0,70	687,53
8	FAC1 → PB4	Vinagre	1008,90	0,001	68,78	0,07	0,90	905,04
	FAC2 → PB4	Vinagre	1008,90	0,001	68,78	0,07	0,90	905,04
	FAC3 → PB4	Vinagre	1008,90	0,001	68,78	0,07	0,90	905,04
	FAC4 → PB4	Vinagre	1008,90	0,001	68,78	0,07	0,90	905,04
9	PB4 → TP2	Vinagre	1008,90	0,001	68,78	0,07	0,90	905,04
	PB4 → TP2	Vinagre	1008,90	0,001	68,78	0,07	0,90	905,04
	PB4 → TP2	Vinagre	1008,90	0,001	68,78	0,07	0,90	905,04
	PB4 → TP2	Vinagre	1008,90	0,001	68,78	0,07	0,90	905,04
10	TP2 → FT	Vinagre	1010,70	0,001	84,68	0,08	0,79	797,54
11	FT → TAV	Vinagre	1010,70	0,001	84,68	0,08	0,79	797,54

Tabla IV.1.5.d.: Diámetros reales, velocidades reales y velocidades másicas en cada tramo.

Línea	Tramo	Fluido	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	Re	ε (mm)	ε/D_i real	(4f) o f
1	TAMC → TAMD	Melaza conc.	1370,00	0,500	8,52E+01	0,045	1,10E-03	0,83
2	TAMD → PB1	Melaza dil.	1000,00	0,001	3,02E+04	0,045	1,28E-03	0,027
	PB1 → FA1	Melaza dil.	1000,00	0,001	3,02E+04	0,045	1,28E-03	0,027
	PB1 → FA2	Melaza dil.	1000,00	0,001	3,02E+04	0,045	1,28E-03	0,027
	PB1 → FA3	Melaza dil.	1000,00	0,001	3,02E+04	0,045	1,28E-03	0,027
	PB1 → FA4	Melaza dil.	1000,00	0,001	3,02E+04	0,045	1,28E-03	0,027
3	FA1 → PB2	Etanol	978,75	0,001	6,04E+04	0,002	2,91E-05	0,020
	FA2 → PB2	Etanol	978,75	0,001	6,04E+04	0,002	2,91E-05	0,020
	FA3 → PB2	Etanol	978,75	0,001	6,04E+04	0,002	2,91E-05	0,020
	FA4 → PB2	Etanol	978,75	0,001	6,04E+04	0,002	2,91E-05	0,020
4	PB2 → TP1	Etanol	978,75	0,001	6,04E+04	0,002	2,91E-05	0,020
	PB2 → TP1	Etanol	978,75	0,001	6,04E+04	0,002	2,91E-05	0,020
	PB2 → TP1	Etanol	978,75	0,001	6,04E+04	0,002	2,91E-05	0,020
	PB2 → TP1	Etanol	978,75	0,001	6,04E+04	0,002	2,91E-05	0,020
5	TP1 → TAE	Etanol	980,43	0,001	1,23E+05	0,002	1,47E-05	0,018
6	TAE → PB3	Etanol	980,43	0,001	2,67E+04	0,002	5,14E-05	0,024
	TAE → PB3	Etanol	980,43	0,001	2,67E+04	0,002	5,14E-05	0,024
	TAE → PB3	Etanol	980,43	0,001	2,67E+04	0,002	5,14E-05	0,024
	TAE → PB3	Etanol	980,43	0,001	2,67E+04	0,002	5,14E-05	0,024
7	PB3 → FAC1	Etanol	980,43	0,001	2,67E+04	0,002	5,14E-05	0,024
	PB3 → FAC2	Etanol	980,43	0,001	2,67E+04	0,002	5,14E-05	0,024
	PB3 → FAC3	Etanol	980,43	0,001	2,67E+04	0,002	5,14E-05	0,024
	PB3 → FAC4	Etanol	980,43	0,001	2,67E+04	0,002	5,14E-05	0,024
8	FAC1 → PB4	Vinagre	1008,90	0,001	6,23E+04	0,002	2,91E-05	0,024
	FAC2 → PB4	Vinagre	1008,90	0,001	6,23E+04	0,002	2,91E-05	0,024
	FAC3 → PB4	Vinagre	1008,90	0,001	6,23E+04	0,002	2,91E-05	0,024
	FAC4 → PB4	Vinagre	1008,90	0,001	6,23E+04	0,002	2,91E-05	0,024
9	PB4 → TP2	Vinagre	1008,90	0,001	6,23E+04	0,002	2,91E-05	0,024
	PB4 → TP2	Vinagre	1008,90	0,001	6,23E+04	0,002	2,91E-05	0,024
	PB4 → TP2	Vinagre	1008,90	0,001	6,23E+04	0,002	2,91E-05	0,024
	PB4 → TP2	Vinagre	1008,90	0,001	6,23E+04	0,002	2,91E-05	0,024
10	TP2 → FT	Vinagre	1010,70	0,001	6,75E+04	0,002	2,36E-05	0,022
11	FT → TAV	Vinagre	1010,70	0,001	6,75E+04	0,002	2,36E-05	0,022

Tabla IV.1.5.e.: Régimen de flujo, rugosidad relativa y factor de fricción.

A continuación se mostrarán los accesorios existentes en cada uno de los tramos de la red de tuberías:

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS						
	Cantidad	Accesorios	Leq/D	Di real (m)	Leq (m)	Leq total (m)
Línea 1: Tramo TAMC → TAMD	2	Codo radio largo 90º	20	0,04	0,82	1,64
	1	Válvula regulación	350	0,04	14,33	14,33
	1	Válvula corte flujo	7	0,04	0,29	0,29
	1	Válvula retención	45	0,04	1,84	1,84
						18,09

Tabla IV.1.5.f.: Pérdida de carga por accesorios línea 1.

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS						
	Cantidad	Accesorios	Leq/D	Di real (m)	Leq (m)	Leq total (m)
Línea 2: Tramo TAMD → PB1	2	Codo radio largo 90º	20	0,04	0,70	1,40
	1	Válvula corte flujo	7	0,04	0,25	0,25
						1,65

Tabla IV.1.5.g.: Pérdida de carga por accesorios línea 2.

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS						
	Cantidad	Accesorios	Leq/D	Di real (m)	Leq (m)	Leq total (m)
Línea 2: Tramos PB1 → FA	3	Codo radio largo 90º	20	0,04	0,70	2,11
	1	Válvula de regulación	350	0,04	12,28	12,28
	1	Válvula de retención	45	0,04	1,58	1,58
						15,97

Tabla IV.1.5.h.: Pérdida de carga por accesorios línea 2.

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS						
	Cantidad	Accesorios	Leq/D	Di real (m)	Leq (m)	Leq total (m)
Línea 3: Tramos FA → PB2	3	Codo radio largo 90º	20	0,07	1,38	4,13
	1	Válvula corte de flujo	7	0,07	0,48	0,48
						4,61

Tabla IV.1.5.i.: Pérdida de carga por accesorios línea 3.

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS						
	Cantidad	Accesorios	Leq/D	Di real (m)	Leq (m)	Leq total (m)
Línea 4: Tramos PB2 → TP1	6	Codo radio largo 90º	20	0,07	1,38	8,25
	1	Válvula de regulación	350	0,07	24,07	24,07
	1	Válvula de retención	45	0,07	3,10	3,10
						35,42

Tabla IV.1.5.j.: Pérdida de carga por accesorios línea 4.

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS						
Línea 5: Tramo TP1 → TAE	Cantidad	Accesorios	Leq/D	Di real (m)	Leq (m)	Leq total (m)
	4	Codo radio largo 90º	20	0,14	2,72	10,86
	2	Válvula de regulación	350	0,14	47,52	95,03
	1	Válvula de retención	45	0,14	6,11	6,11
						112,00

Tabla IV.1.5.k.: Pérdida de carga por accesorios línea 5.

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS						
Línea 6: Tramos TAE → PB3	Cantidad	Accesorios	Leq/D	Di real (m)	Leq (m)	Leq total (m)
	4	Codo radio largo 90º	20	0,04	0,78	3,11
	1	Válvula corte de flujo	7	0,04	0,27	0,27
						3,38

Tabla IV.1.5.l.: Pérdida de carga por accesorios línea 6.

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS						
Línea 7: Tramos PB3 → FAC	Cantidad	Accesorios	Leq/D	Di real (m)	Leq (m)	Leq total (m)
	3	Codo radio largo 90º	20	0,04	0,78	2,33
	1	Válvula corte de flujo	7	0,04	0,28	0,28
						2,61

Tabla IV.1.5.m.: Pérdida de carga por accesorios línea 7.

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS						
Línea 8: Tramos FAC → PB4	Cantidad	Accesorios	Leq/D	Di real (m)	Leq (m)	Leq total (m)
	3	Codo radio largo 90º	20	0,07	1,38	4,13
	1	Válvula corte de flujo	7	0,07	0,49	0,49
						4,62

Tabla IV.1.5.n.: Pérdida de carga por accesorios línea 8.

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS						
Línea 9: Tramos PB4 → TP2	Cantidad	Accesorios	Leq/D	Di real (m)	Leq (m)	Leq total (m)
	3	Codo radio largo 90º	20	0,07	1,38	4,13
	1	Válvula regulación	350	0,07	24,50	24,50
	1	Válvula retención	45	0,07	3,15	3,15
						31,78

Tabla IV.1.5.o.: Pérdida de carga por accesorios línea 9.

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS						
Línea 10: Tramo TP2 → FT	Cantidad	Accesorios	Leq/D	Di real (m)	Leq (m)	Leq total (m)
	3	Codo radio largo 90º	20	0,08	1,69	5,08
	1	Válvula regulación	350	0,08	29,64	29,64
	1	Válvula de retención	45	0,08	3,81	3,81
						38,53

Tabla IV.1.5.p.: Pérdida de carga por accesorios línea 10.

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS						
Línea 11: Tramo FT → TAV	Cantidad	Accesorios	Leq/D	Di real (m)	Leq (m)	Leq total (m)
	3	Codo radio largo 90º	20	0,08	1,69	5,08
	1	Válvula regulación	350	0,08	29,64	29,64
	1	Válvula de retención	45	0,08	3,81	3,81
						38,53

Tabla IV.1.5.q.: Pérdida de carga por accesorios línea 11.

Finalmente, se muestran los resultados obtenidos de pérdidas de carga en la red de tuberías de la planta:

Línea	Tramo	ΔP (Pa/m)	ΔP (kPa/m)	L (m)	Leq (m)	hf (m)
1	TAMC → TAMD	16039,76	16,04	2	18,09	12,27
2	TAMD → PB1	571,52	0,57	2	1,65	0,11
	PB1 → FA1	571,52	0,57	10	15,97	0,76
	PB1 → FA2	571,52	0,57	10	15,97	0,76
	PB1 → FA3	571,52	0,57	12	15,97	0,81
	PB1 → FA4	571,52	0,57	12	15,97	0,81
3	FA1 → PB2	229,01	0,23	2	4,61	0,08
	FA2 → PB2	229,01	0,23	2	4,61	0,08
	FA3 → PB2	229,01	0,23	3	4,61	0,09
	FA4 → PB2	229,01	0,23	3	4,61	0,09
4	PB2 → TP1	229,01	0,23	4	35,42	0,47
	PB2 → TP1	229,01	0,23	4	35,42	0,47
	PB2 → TP1	229,01	0,23	4	35,42	0,47
	PB2 → TP1	229,01	0,23	4	35,42	0,47
5	TP1 → TAE	110,28	0,11	12	112,00	0,71
6	TAE → PB3	297,47	0,30	2	3,38	0,08
	TAE → PB3	297,47	0,30	2	3,38	0,08
	TAE → PB3	297,47	0,30	2	3,38	0,08
	TAE → PB3	297,47	0,30	2	3,38	0,08
7	PB3 → FAC1	297,47	0,30	11	2,61	0,21
	PB3 → FAC2	297,47	0,30	11	2,61	0,21
	PB3 → FAC3	297,47	0,30	13	2,61	0,24
	PB3 → FAC4	297,47	0,30	13	2,61	0,24
8	FAC1 → PB4	283,28	0,28	2	4,62	0,09
	FAC2 → PB4	283,28	0,28	2	4,62	0,09
	FAC3 → PB4	283,28	0,28	4	4,62	0,12
	FAC4 → PB4	283,28	0,28	4	4,62	0,12
9	PB4 → TP2	283,28	0,28	3	31,78	0,50
	PB4 → TP2	283,28	0,28	3	31,78	0,50
	PB4 → TP2	283,28	0,28	3	31,78	0,50
	PB4 → TP2	283,28	0,28	3	31,78	0,50
10	TP2 → FT	163,49	0,16	2	38,53	0,33
11	FT → TAV	163,49	0,16	2	38,53	0,33
hftotal (m)						22,78

Tabla IV.1.5.r.: Pérdidas de carga totales en la red de tuberías.

ANEXO V: DISEÑO DE BOMBAS

V.1. Introducción

A continuación, en los siguientes apartados, se determinarán la altura útil de la bomba, su potencia y la altura neta de succión positiva disponible, parámetros necesarios para seleccionar las bombas más adecuadas en la instalación.

V.2. Altura útil y potencia de la bomba

Se define altura útil como la presión que debe ejercer la bomba para poder elevar un líquido desde su nivel más bajo hasta el punto más alto de elevación, venciendo así las resistencias que puedan existir en la conducción.

Para poder hallar la altura útil de la bomba, es necesario hacer uso de la ecuación de Bernoulli:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + (z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_f \quad [\text{Ec.V.2.a.}]$$

Donde 1 es el punto de succión de la bomba y 2 el punto de descarga del líquido, siendo:

$P_2 - P_1 / \rho g$	Carga debida a la diferencia de presiones entre los puntos considerados, en m.
$z_2 - z_1$	Carga debida a la diferencia de altura entre los puntos considerados, en m.
$v_2^2 - v_1^2 / 2g$	Carga debida a la diferencia de velocidad entre los puntos considerados, en m.
h_f	Carga debida a la fricción entre los puntos considerados, en m.

La potencia (W) es la potencia que requiere la bomba para poder impulsar el caudal requerido de líquido a la altura útil calculada. El valor de la potencia puede hallarse mediante la siguiente expresión:

$$W = H \cdot Q \cdot \rho \cdot g \quad [\text{Ec.V.2.b.}]$$

Siendo:

H	Altura útil de la bomba, en m
Q	Caudal que suministra la bomba, en m ³ /s
ρ	Densidad del fluido, en kg/m ³
g	Aceleración de la gravedad, en m/s ²

A continuación se estimarán la altura útil y la potencia de la bomba en cada línea del sistema:

➤ **Línea 2: Impulsión de la melaza diluida hacia el fermentador alcohólico.**

La ecuación [Ec.V.2.a.] se aplicará entre la salida del tanque de almacenamiento de melaza concentrada hasta la entrada en el fermentador alcohólico.

Se impone una velocidad de circulación del fluido de 1,2 m/s mientras que la velocidad en la superficie del fluido dentro del fermentador alcohólico se toma como nula.

Las alturas de los puntos 1 y 2 son: $z_1=0,5$ m y $z_2=5,5$ m. El término correspondiente a las presiones se anula, ya que se considerará que se trabaja a presión atmosférica en todos los casos, por lo que $P_1=P_2$. Las pérdidas de carga en la conducción ya son conocidas debido a que se calcularon en el Anexo IV del presente proyecto.

Por tanto, la altura útil sería, para los fermentadores alcohólicos 1 y 2 (FA1 y FA2):

$$H = (5,5 \text{ m} - 0,5 \text{ m}) + \frac{-1,2^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0,86 \text{ m} = 5,80 \text{ m}$$

Para los fermentadores alcohólicos 3 y 4 (FA3 y FA4):

$$H = (5,5 \text{ m} - 0,5 \text{ m}) + \frac{-1,2^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0,92 \text{ m} = 5,86 \text{ m}$$

A continuación, sustituyendo en [Ec.V.2.b.], puede hallarse la potencia mínima que debe tener la bomba. Para los fermentadores alcohólicos 1 y 2 (FA1 y FA2):

$$W = 5,80 \text{ m} \cdot 0,00083 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 47,43 \text{ W} = 0,05 \text{ kW}$$

Para los fermentadores alcohólicos 3 y 4 (FA3 y FA4):

$$W = 5,86 \text{ m} \cdot 0,00083 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 47,90 \text{ W} = 0,05 \text{ kW}$$

Los cálculos realizados para obtener los valores de altura útil y potencia son idénticos para todos los casos, por lo que se adjuntarán a continuación unas tablas con los resultados obtenidos en cada caso:

DESCRIPCIÓN DE LAS BOMBAS		
Descripción/Cálculo de la altura útil		
Línea 2	B1	Impulsión de melaza diluida hacia fermentador alcohólico 1
	B2	Impulsión de melaza diluida hacia fermentador alcohólico 2
	B3	Impulsión de melaza diluida hacia fermentador alcohólico 3
	B4	Impulsión de melaza diluida hacia fermentador alcohólico 4
Línea 4	B5	Impulsión de etanol hacia tanque pulmón 1
	B6	Impulsión de etanol hacia tanque pulmón 1
	B7	Impulsión de etanol hacia tanque pulmón 1
	B8	Impulsión de etanol hacia tanque pulmón 1
Línea 5	B9	Impulsión de etanol hacia tanque de almacenamiento de etanol
Línea 7	B10	Impulsión de etanol hacia fermentador acético 1
	B11	Impulsión de etanol hacia fermentador acético 2
	B12	Impulsión de etanol hacia fermentador acético 3
	B13	Impulsión de etanol hacia fermentador acético 4
Línea 9	B14	Impulsión de vinagre hacia tanque pulmón 2
	B15	Impulsión de vinagre hacia tanque pulmón 2
	B16	Impulsión de vinagre hacia tanque pulmón 2
	B17	Impulsión de vinagre hacia tanque pulmón 2
Línea 10	B18	Impulsión de vinagre hacia tanque de almacenamiento de vinagre

Tabla V.2.a.: Descripción de las bombas.

ALTURA ÚTIL DE LAS BOMBAS								
Línea	Bomba	z_2 (m)	z_1 (m)	$z_2 - z_1$ (m)	v_2^2 (m/s)	v_1^2 (m/s)	h_f (m)	H (m)
Línea 2	B1	5,5	0,5	5	0	1,20	0,86	5,80
	B2	5,5	0,5	5	0	1,20	0,86	5,80
	B3	5,5	0,5	5	0	1,20	0,92	5,86
	B4	5,5	0,5	5	0	1,20	0,92	5,86
Línea 4	B5	4	0,5	3,5	0	1,20	0,55	3,99
	B6	4	0,5	3,5	0	1,20	0,55	3,99
	B7	4	0,5	3,5	0	1,20	0,56	4,00
	B8	4	0,5	3,5	0	1,20	0,56	4,00
Línea 5	B9	4	0,5	3,5	0	1,20	0,71	4,15
Línea 7	B10	5,5	0,5	5	0	1,20	0,29	5,23
	B11	5,5	0,5	5	0	1,20	0,29	5,23
	B12	5,5	0,5	5	0	1,20	0,32	5,26
	B13	5,5	0,5	5	0	1,20	0,32	5,26
Línea 9	B14	4	0,5	3,5	0	1,20	0,59	4,03
	B15	4	0,5	3,5	0	1,20	0,59	4,03
	B16	4	0,5	3,5	0	1,20	0,62	4,06
	B17	4	0,5	3,5	0	1,20	0,62	4,06
Línea 10	B18	5	0,5	4,5	0	1,20	0,67	5,11

Tabla V.2.b.: Altura útil de las bombas.

POTENCIAS DE LA BOMBAS							
Línea	Bomba	H (m)	Q_v (m³/s)	ρ (kg/m³)	g (m/s²)	W (W)	W (kW)
Línea 2	B1	5,80	0,00083	1000,00	9,81	47,43	0,05
	B2	5,80	0,00083	1000,00	9,81	47,43	0,05
	B3	5,86	0,00083	1000,00	9,81	47,90	0,05
	B4	5,86	0,00083	1000,00	9,81	47,90	0,05
Línea 4	B5	3,99	0,00333	978,75	9,81	127,63	0,13
	B6	3,99	0,00333	978,75	9,81	127,63	0,13
	B7	4,00	0,00333	978,75	9,81	128,01	0,13
	B8	4,00	0,00333	978,75	9,81	128,01	0,13
Línea 5	B9	4,15	0,01333	980,43	9,81	532,16	0,53
Línea 7	B10	5,23	0,00083	980,43	9,81	41,94	0,04
	B11	5,23	0,00083	980,43	9,81	41,94	0,04
	B12	5,26	0,00083	980,43	9,81	42,19	0,04
	B13	5,26	0,00083	980,43	9,81	42,19	0,04
Línea 9	B14	4,03	0,00333	1008,90	9,81	132,99	0,13
	B15	4,03	0,00333	1008,90	9,81	132,99	0,13
	B16	4,06	0,00333	1008,90	9,81	133,93	0,13
	B17	4,06	0,00333	1008,90	9,81	133,93	0,13
Línea 10	B18	5,11	0,00444	1010,70	9,81	225,06	0,23

Tabla V.2.c.: Potencia de las bombas.

V.3. Cavitación y altura neta de succión positiva disponible

El fenómeno de cavitación es quizás el problema más temido en el área de hidráulica. Es un fenómeno físico que consiste principalmente en la formación de burbujas en el seno del líquido. Esto se debe a que la presión en la entrada a la bomba alcanza la presión de vapor del líquido que se bombea, a la temperatura de operación.

Representa el ataque al impulsor de la bomba, afectando a su funcionamiento, disminuyendo así el rendimiento de la instalación.

La cavitación hace que el equipo presente ruidos y vibraciones, con lo que influye en los costes de mantenimiento. Con el paso del tiempo, puede causar daños irreparables en los equipos.

La altura neta de succión positiva disponible (NPSH_d) representa un análisis de las condiciones energéticas en el lado de aspiración de la bomba, para conocer si el líquido sufrirá una evaporación al alcanzar su presión de vapor. La siguiente ecuación muestra cómo puede calcularse este parámetro:

$$NPSH_d = \frac{P_a - P_v}{\rho \cdot g} + \frac{v_a^2}{2 \cdot g} - h_{f_{a-e}} + (z_a - z_e) \quad [\text{Ec.V.3.a.}]$$

Donde:

P_a	Presión de aspiración, en Pa
P_v	Presión de vapor del líquido a la temperatura de trabajo, en Pa
v_a	Velocidad en el punto de aspiración, en m/s
h_{f_{a-e}}	Pérdidas de carga entre la superficie de aspiración y la entrada a la bomba, en m
z_a	Altura del punto de aspiración, en m
z_e	Altura de la entrada a la bomba, en m

Luego, también puede encontrarse la altura neta de succión positiva requerida (NPSH_r), que es la presión mínima que la bomba requiere para mantener un buen funcionamiento sin que se corra el riesgo de que aparezca el fenómeno de cavitación. El valor de NPSH_r viene dado por el fabricante de la bomba.

De esta manera, para conseguir evitar el fenómeno de cavitación, es necesario que el valor de NPSHd sea mayor que el valor de NPSHr proporcionado por el fabricante.

Para poder realizar el cálculo de NPSHd hay que tener en cuenta una serie de consideraciones:

CONSIDERACIONES
En todas las líneas, la presión en el punto de aspiración (P_a) es igual a la presión atmosférica.
La presión de vapor de cada fluido (P_v) será evaluada a la temperatura más desfavorable (la más alta puesto que así P_v será más alta).
La altura de la entrada de todas las bombas (z_e) será de 0,5 m.
Las alturas de aspiración (z_a) ya fueron definidas en el cálculo de la potencia, siendo $Z_a = Z_2 - Z_1$.
Las pérdidas de carga entre la superficie de succión y la entrada de la bomba (h_{fa-e}) se calculan siguiendo el mismo procedimiento que en el diseño de tuberías. Estas pérdidas serán menores ya que el número de accesorios y de tramos considerados son menores también.

A continuación se muestran los datos necesarios para calcular la NPSHd:

DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO								
Sustancia	v_a (m/s)	z_a (m)	P_v (mmHg) (a 30°C)	P_v (Pa) (a 30°C)	ρ (kg/m ³) (a 30°C)	P_a (Pa)	z_e (m)	h_{fa-e} (m)
Melaza diluida hacia FA	1,20	5	31,82	4242,85	1000,00	101325,00	0,50	0,66
Etanol hacia TP1	1,20	3,5	78,56	10473,81	978,75	101325,00	0,50	0,44
Etanol hacia FAC	1,20	5	78,56	10473,81	980,43	101325,00	0,50	0,22
Vinagre hacia TP2	1,20	3,5	20,29	2705,11	1008,90	101325,00	0,50	0,47
Vinagre hacia TAV	1,20	4,5	20,29	2705,11	1010,70	101325,00	0,50	0,65
Etanol hacia TAE	1,20	3,5	78,56	10473,81	980,43	101325,00	0,50	0,68
Fuente: "The Properties of Gases and Liquids" McGraw Hill.								

Tabla V.3.a.: Datos necesarios para el cálculo de NPSHd.

A modo de ejemplo, se calculará la NPSHd de la línea 2, que corresponde a las bombas donde se impulsa la melaza diluida hacia los fermentadores alcohólicos, aplicando la ecuación [Ec.V.3.a.].

➤ **Línea 2: Impulsión de la melaza diluida hacia el fermentador alcohólico.**

Se considerará que la presión de vapor de las melazas será igual a la del agua a una temperatura de 30°C. Consultando en la bibliografía, este dato corresponde a 4242,85 Pa.

Los demás datos son conocidos, por lo que finalmente se halla el dato de altura neta de succión positiva disponible:

$$NPSH_d = \frac{(101325 \text{ Pa} - 4242,85 \text{ Pa})}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + \frac{1,2^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 0,66 \text{ m} + (5 \text{ m} - 0,5 \text{ m}) = 13,81 \text{ m}$$

Finalmente se adjunta una tabla que recoge los valores de NPSHd en cada uno de los casos, aplicando la metodología de cálculo descrita anteriormente:

Sustancia	NPSHd (m)
Melaza diluida hacia FA	13,81
Etanol hacia TP1	12,10
Etanol hacia FAC	13,80
Vinagre hacia TP2	12,57
Vinagre hacia TAV	12,87
Etanol hacia TAE	11,84

Tabla V.3.b.: Datos necesarios para el cálculo de NPSHd.

Una vez conocidos los valores de altura útil, potencia y NPSHd, se puede acudir a los catálogos de fabricantes para seleccionar la bomba más adecuada en cada uno de los casos.

ANEXO VI: GENERACIÓN DE CALOR Y DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

VI.1. Calor generado en el proceso de fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica es un proceso donde se desprende calor, es decir, es un proceso exotérmico. La reacción que tiene lugar es la siguiente:



Una parte del calor que se libera en el proceso es usado por *Saccharomyces cerevisiae* para poder desarrollarse adecuadamente en el medio, y el resto es energía que se libera al medio fermentativo en forma de calor, aproximadamente unas 25 kcal/mol.

Sabiendo que:

$1^\circ \text{ alcohólico} \rightarrow \frac{8,1 \text{ g } C_2H_5O}{1 \text{ L de disolución}}$

PM etanol (g/mol)	46
-------------------	----

Se pueden conocer los moles de etanol por cada litro de melaza y cada grado alcohólico:

$$\frac{8,1 \text{ g } C_2H_5O}{1 \text{ L melaza diluida}} \cdot \frac{1 \text{ mol } C_2H_5O}{46 \text{ g } C_2H_5O} = 0,176 \frac{\text{mol } C_2H_5O}{\text{L melaza diluida y grado alcohólico}}$$

Sabiendo que el volumen útil del fermentador son 12000 litros, y considerando que todo el volumen se transforma en etanol:

$$0,176 \frac{\text{mol } C_2H_5O}{\text{L melaza diluida y grado alcohólico}} \cdot 12000 \text{ L} = 2112 \frac{\text{mol } C_2H_5O}{\text{grado alcohólico}}$$

Si la velocidad de fermentación alcohólica es de 1,3° alcohólicos/día aproximadamente, entonces se generan:

$$2112 \frac{\text{mol } C_2H_6O}{\text{grado alcohólico}} \cdot 1,3 \frac{\text{grado alcohólico}}{\text{día}} = 2745,6 \frac{\text{mol } C_2H_6O}{\text{día}}$$

Según la estequiometría de la reacción, por cada mol de glucosa se producen dos moles de etanol (estequiometría 1:2), por lo que se consumen 1372,8 moles de glucosa al día.

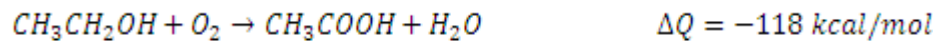
Como se conoce que en la reacción se libera un calor de 25 kcal/mol al medio, el calor total que se desprende es, entonces:

$$25 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} \cdot 1372,8 \frac{\text{mol glucosa}}{\text{día}} = 34320 \frac{\text{kcal}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 1430 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Dicho calor es el máximo posible desprendido en la etapa de arranque del proceso.

VI.2. Calor generado en el proceso de fermentación acética

Al igual que ocurre con la fermentación alcohólica, la fermentación acética es un proceso exotérmico donde se desprende calor. La reacción que tiene lugar en el medio es la siguiente:



Sabiendo que:

1º acético	→	$\frac{10 \text{ g ácido acético}}{1 \text{ L de vinagre}}$
PM ác. acético (g/mol)		60

Se pueden conocer los moles de ácido acético por cada litro de vinagre y grado acético producido:

$$\frac{10 \text{ g ácido acético}}{1 \text{ L vinagre}} \cdot \frac{1 \text{ mol ácido acético}}{60 \text{ g ácido acético}} = 0,167 \frac{\text{mol ácido acético}}{\text{L vinagre y grado acético}}$$

Conociendo que el volumen útil del fermentador acético son 12000 litros, y considerando además que todo este volumen se transforma en vinagre, entonces:

$$0,167 \frac{\text{mol ácido acético}}{\text{L vinagre y grado acético}} \cdot 12000 \text{ L} = 2004 \frac{\text{mol ácido acético}}{\text{grado acético}}$$

Si se admite que la velocidad de acetificación proporcionada por la bibliografía es de 2º ácidos/día, entonces se generan 4008 mol ácido acético/día.

Como la estequiometría es 1:1, es decir, se produce un mol de ácido acético por cada mol de etanol consumido, puede decirse que se transforman 4008 mol etanol/día.

Sabiendo que la reacción desprende un calor de 118 kcal/mol, entonces, el calor total desprendido en el proceso es:

$$118 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} \cdot 4008 \frac{\text{mol ácido acético}}{\text{día}} = 474631,58 \frac{\text{kcal}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 19776,32 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Este es el calor máximo desprendido en la etapa de arranque del proceso.

VI.3. Diseño del sistema de refrigeración para el proceso de fermentación acética

En el presente anexo se determinará el tipo de sistema refrigerante que va a utilizarse para asegurar que el fermentador acético opere como máximo a 30°C.

La refrigeración calculada en este anexo corresponde al caso en que las bacterias acéticas se encuentran llevando a cabo la fermentación, habiendo pasado la etapa inicial, donde las transformaciones se dan de manera más lenta y donde no es necesario retirar el calor desprendido en el proceso fermentativo.

La temperatura óptima de fermentación no es muy alta, por lo que un serpentín sería adecuado. Además, su área de intercambio es mayor que en el caso de otros intercambiadores y permiten mantener la esterilidad del medio debido a que no es un equipo externo y no interfiere en la mezcla.

El proceso posee una serie de parámetros que serán importantes a la hora de diseñar el serpentín, entre otras variables deberá determinarse el área de transmisión de calor requerida para mantener la temperatura óptima del proceso fermentativo.

Antes de comenzar con los cálculos, se detallará la nomenclatura que va a utilizarse a continuación:

- D_o : diámetro exterior del fermentador.
- D_i : diámetro interior del fermentador.
- T_f : temperatura del caldo de fermentación, 30°C (303 K).

- T_E : temperatura de entrada del agua de refrigeración, 25°C (298 K).

Se elige 25°C como temperatura de entrada ya que será superior en algunos grados de temperatura a la que se tendría en el caso más desfavorable en que el agua procedente de la red llegue más caliente, siendo habitual en la época de verano, y menos calor pueda absorber del proceso. En definitiva, se utiliza esta temperatura para realizar un sobredimensionado del serpentín.

- T_S : temperatura de salida del agua de refrigeración.
- T_a : temperatura ambiente, 20°C (293 K).
- U_F : coeficiente global de transmisión de calor en las paredes del fermentador.
- U_s : coeficiente global de transferencia de calor del serpentín.
- ΔT_{ml} : incremento de temperatura media logarítmica.
- a : área exterior del serpentín.
- A : área interior del fermentador.

Se distinguen dos tipos de líquidos en el proceso de refrigeración:

- Líquido caliente: caldo de fermentación.
- Líquido frío: agua que circula por el serpentín.

El balance de calor para estos líquidos viene expresado por la siguiente relación:

$$(\text{Entrada}) + (\text{Generación}) = (\text{Salida}) + (\text{Acumulación})$$

El término de acumulación se considerará nulo ya que se admitirá que el sistema alcanza el estado estacionario. El término de entrada también será nulo debido a que solamente se tiene en cuenta cuando la temperatura ambiente sea superior a la temperatura del caldo de fermentación.

VI.3.1. Balance de energía aplicado al caldo de fermentación

Una vez realizado el balance de calor al líquido caliente (caldo de fermentación), se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q_g = [U_F \cdot A \cdot (T_F - T_a)] + (U_S \cdot a \cdot \Delta T_{ml}) \quad [\text{Ec. VI.3.1.a.}]$$

Donde:

- Q_g : calor generado en el proceso fermentativo. Como se vió en el apartado VI.2., tiene un valor de 19776,32 kcal/h.
- ΔT_{ml} : incremento de temperatura media logarítmica. Se utiliza este parámetro ya que la diferencia existente entre la temperatura del caldo de fermentación y el agua de refrigeración variará a lo largo del serpentín. Este término viene expresado por la siguiente ecuación:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_E - \Delta T_S}{\ln \frac{\Delta T_E}{\Delta T_S}} \quad [\text{Ec. VI.3.1.b.}]$$

- $U_F \cdot A \cdot (T_F - T_a)$: calor disipado a través de las paredes del fermentador acético.
- $U_S \cdot a \cdot \Delta T_{ml}$: calor disipado a través de las paredes del serpentín.

VI.3.2. Balance de energía aplicado al agua refrigerante

Cuando se realiza el balance de calor al serpentín se obtiene la siguiente expresión:

$$U_S \cdot a \cdot \Delta T_{ml} = -w \cdot C_p \cdot (T_E - T_S) \quad [\text{Ec. VI.3.2.a.}]$$

Donde:

- $U_S \cdot a \cdot \Delta T_{ml}$: entrada de calor.
- $-w \cdot C_p \cdot (T_E - T_S)$: calor que se retira por la corriente de agua refrigerante.
- w : caudal másico de agua refrigerante (kg/h).
- C_p : calor específico del agua refrigerante (kcal/kg·°C).

De las ecuaciones anteriores, [Ec. VI.3.1.a.] y [Ec. VI.3.2.a.], se desconocen los siguientes términos: U_s , w , a , T_s , U_F , ΔT_{ml} . A continuación se desarrollará el cálculo de los mismos.

VI.3.3. Cálculo de U_s

Este coeficiente representa la resistencia a la transmisión de calor y lo comprenden la suma de las distintas resistencias debidas a la transmisión de calor por convección en el seno del agua refrigerante, la transmisión de calor por conducción a través de las paredes del serpentín y la transmisión de calor por convección en el seno del caldo de fermentación. Para superficies cilíndricas se expresa con la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{h_{si} \cdot \left(\frac{D_{Ti}}{D_{To}}\right)} + \frac{1}{2} \cdot \frac{D_{To}}{k} \cdot \ln \frac{D_{Ti}}{D_{To}} + \frac{1}{h_{se}} \quad [\text{Ec. VI.3.3.a.}]$$

Donde:

- h_{si} : coeficiente de convección en el interior del serpentín.
- k : conductividad térmica del serpentín (acero inoxidable) $\rightarrow k_{\text{acero inoxidable}} = 14 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ (válido entre 0 y 100°C).
- h_{se} : coeficiente de convección en el seno del caldo de fermentación.

El segundo sumatorio de la [Ec. VI.3.3.a.] es muy pequeño en comparación a los otros dos, debido a que el serpentín es de acero inoxidable y posee una conductividad térmica, k , bastante elevada, por lo que el valor de U_s vendrá condicionado principalmente por los valores de h_{si} y h_{se} .

VI.3.3.1. Cálculo de h_{si}

Para calcular este coeficiente de convección, será necesario hacer uso de expresiones que dependen de los siguientes números adimensionales: Nusselt, Reynolds y Prandtl.

El número de Nusselt variará dependiendo de las condiciones en que se trabaje. Considerando la situación en que el agua refrigerante circula por el interior de la tubería del serpentín, con un flujo que puede considerarse turbulento, en función de la velocidad que lleva el agua, se hace uso de la expresión de Dittus-Boelter:

$$Nu_D = 0,023 \cdot Re_D^{0,8} \cdot Pr^n \quad [\text{Ec. VI.3.3.1.a.}]$$

Siendo:

- $n = 0,3$ si el líquido se enfría.
- $n = 0,4$ si el líquido se calienta.

La [Ec. VI.3.3.1.a.] está limitada a las siguientes condiciones:

- $Re > 10^4$
- $0,7 < Pr < 100$
- $L/D > 60$

Además, las expresiones para los distintos números adimensionales que aparecen en la expresión de Dittus-Boelter son:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad [\text{Ec. VI.3.3.1.b.}]$$

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k_{agua}} \quad [\text{Ec. VI.3.3.1.c.}]$$

$$Nu = \frac{h_i \cdot D_{Ti}}{k_{agua}} \quad [\text{Ec. VI.3.3.1.d.}]$$

Se puede ver que el número de Reynolds depende de la velocidad, aun desconocida ya que uno de los parámetros a determinar es el caudal másico de agua, y que la expresión de Dittus-Boelter depende del número de Reynolds.

De esta manera, todas las ecuaciones se expresarán en función de la velocidad, v , o del caudal másico, w , y una vez hallado este valor, podrá finalmente determinarse el valor del coeficiente h_{si} .

Para poder realizar los cálculos, se han tenido en cuenta las propiedades del agua a una temperatura de 25°C, ya que anteriormente se consideró esta temperatura para situarse en el caso más desfavorable. Las propiedades del agua a esta temperatura son (“Operaciones Unitarias en Ingeniería Química” McCabe, Warren L., Smith, Harriot):

ρ (kg/m ³)	997,07
μ (kg/m·s)	0,000894
C_p (kcal/kg·°C)	1
k (kcal/h·m·°C)	0,522
k (kcal/s·m·°C)	0,000145

Tabla VI.3.3.1.a.: Propiedades del agua a 25°C (McCabe, Smith).

Se ha seleccionado una tubería de acero inoxidable AISI 316L para el serpentín de diámetro nominal ½ in (Schedule 10S), a la que le corresponde:

D_{Ti} (mm)	17,1
D_{Te} (mm)	21,3
t (mm)	2,11
k acero inox. (kcal/h·m·°C)	14

Tabla VI.3.3.1.b.: Diámetros, espesor y conductividad térmica del serpentín.

Conociendo estos datos se obtienen el número de Prandtl y el número de Reynolds en función de la velocidad, haciendo uso de las ecuaciones [Ec.VI.3.3.1.b.] y [Ec. VI.3.3.1.c.):

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{997,07 \cdot v \cdot 0,0171}{0,000894} = 19071,47 \cdot v$$

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k_{agua}} = \frac{0,000894 \cdot 1}{0,000145} = 6,17$$

Sustituyendo en la ecuación del Nusselt y despejando h_{si} se obtiene:

$$h_{si} = 0,023 \cdot (19071,47 \cdot v)^{0,8} \cdot 6,17^{0,4} \cdot \frac{0,522}{0,0171} = 3862,10 \cdot v^{0,8} \frac{kcal}{m^2 \cdot ^\circ C} \left(\frac{s}{m}\right)^{0,8}$$

Este valor obtenido de la ecuación de Dittus-Boelter sólo es válido cuando se trata de tubos rectos, pero en el caso de que no sea así, habrá que tener en cuenta un valor corregido, que vendrá determinado por la correlación de McAdams:

$$h_{si,corregido} = h_{si} \cdot \left(1 + 3,5 \cdot \frac{D}{D_e}\right) \quad [\text{Ec. VI.3.3.1.e.}]$$

Donde:

- D: diámetro interior del serpentín, 0,0171 metros.
- De: diámetro de la espiral, 1,65 metros. Este valor nace de considerar un espacio por cada lado del fermentador de unos 10 centímetros, en función del diámetro interior de este.

Por tanto, se obtendrá un valor del coeficiente de convección corregido de:

$$h_{si,corregido} = 3862,10 \cdot v^{0,8} \cdot \left(1 + 3,5 \cdot \frac{0,0171}{1,65}\right) = 4002,19 \cdot v^{0,8} \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \left(\frac{\text{s}}{\text{m}}\right)^{0,8}$$

Como puede comprobarse, este coeficiente se encuentra en función de la velocidad lineal y se pretende que lo esté en función del caudal másico, w, por lo que será necesario utilizar la ecuación de continuidad para transformar el resultado anterior en otro que dependa de dicho caudal:

$$\begin{aligned} Q &= v \cdot S & Q &= \frac{w}{\rho} & S &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \\ v &= \frac{Q}{S} = \frac{w}{\rho \cdot S} = \frac{w}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{4 \cdot w}{\rho \cdot \pi \cdot D^2} \end{aligned} \quad [\text{Ec. VI.3.3.1.f.}]$$

Sustituyendo la expresión de la velocidad lineal, [Ec. VI.3.3.1.f.], en el valor obtenido de $h_{si,corregido}$ se obtiene:

$$\begin{aligned} h_{si,corregido} &= 4002,19 \cdot \left(\frac{4 \cdot w}{\rho \cdot \pi \cdot D^2}\right)^{0,8} = 4002,19 \cdot \left(\frac{4 \cdot w}{997,07 \cdot \pi \cdot 0,0171^2}\right)^{0,8} \\ h_{si,corregido} &= 13015,22 \cdot w^{0,8} \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \left(\frac{\text{s}}{\text{kg}}\right)^{0,8} \end{aligned}$$

VI.3.3.2. Cálculo de h_{se}

La estimación del coeficiente de convección en el caldo de fermentación es muy compleja.

Para poder hallar este dato y, por tanto, obtener el valor del tercer término en la ecuación de U_s , ha de suponerse que se está en condiciones de convección forzada, ya que en el exterior del serpentín se encuentra el caldo de fermentación agitado.

Se ha considerado un valor de este coeficiente de convección proporcionado por la bibliografía, que tiene en cuenta un caso similar al que se presenta en esta ocasión:

$$h_{se} = 573,39 \frac{W}{m^2 \cdot K} = 493 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$$

En apartados posteriores se calculará este coeficiente teniendo en cuenta el caudal de agua refrigerante que circula por el serpentín.

VI.3.3.3. Resultado de U_s

Una vez conocidos los valores de los coeficientes de convección, h_{si} y h_{se} , se procederá a calcular U_s a partir de la ecuación [Ec. VI.3.3.a.]:

$$\begin{aligned} \frac{1}{U_s} &= \frac{1}{h_{si} \cdot \left(\frac{D_{Ti}}{D_{To}}\right)} + \frac{1}{2} \cdot \frac{D_{To}}{k_{serpentín}} \cdot \ln \frac{D_{To}}{D_{Ti}} + \frac{1}{h_{se}} \\ &= \frac{1}{13015,22 \cdot w^{0,8} \cdot \left(\frac{0,0171}{0,0213}\right)} + \frac{1}{2} \cdot \frac{0,0213}{14} \cdot \ln \left(\frac{0,0213}{0,0171}\right) + \frac{1}{493} \\ \frac{1}{U_s} &= 0,0023 \cdot w^{0,8} \left(\frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}\right)^{-1} \\ U_s &= 436,45 \cdot w^{0,8} \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \end{aligned}$$

Al encontrarse este coeficiente en función del caudal másico, y no conocer el valor de este, se hace una primera aproximación conforme a los datos proporcionados por la bibliografía. Tratándose de un serpentín que se encuentra inmerso en agua en el interior del cual circula agua refrigerante (similar al caso), el valor de U_s para sistemas

agitados se encuentra entre 430 y 1720,1 kcal/h·m²·°C. Se ha considerado el caso más desfavorable (430 kcal/h·m²·°C).

Cuando se resuelva el cálculo del serpentín, podrá determinarse finalmente los valores de h_{si} y h_{se}.

VI.3.4. Cálculo de U_F

Dado que el fermentador posee una estructura cilíndrica, se usará la misma expresión que para el cálculo de U_s pero en este caso se hará uso de los diámetros del fermentador:

$$\frac{1}{U_F} = \frac{1}{h_{Fi}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{t_{\text{pared fermentador}} \cdot A_{\text{interior}}}{k_{\text{pared fermentador}} \cdot A_{ml}} + \frac{A_{\text{interior}}}{h_{Fe} \cdot A_{\text{exterior}}} \quad [\text{Ec. VI.3.4.a.}]$$

Donde:

- h_{Fi}: coeficiente de convección en el interior del fermentador (493 kcal/m²·h·°C).
- t_{pared fermentador}: espesor de la pared del fermentador (0,006 m).
- k_{pared fermentador}: conductividad térmica de la pared del fermentador (14 kcal/h·m·°C).
- h_{Fe}: coeficiente de convección en el aire exterior al fermentador (por determinar).
- A_{interior}: área interior del fermentador (17,16 m²).
- A_{exterior}: área exterior del fermentador (17,47 m²).
- A_{ml}: área media logarítmica (28,79). Ha sido determinada mediante la siguiente expresión:

$$A_{ml} = \frac{A_{\text{exterior}} - A_{\text{interior}}}{\ln \frac{D_{\text{exterior}}}{D_{\text{interior}}}} \quad [\text{Ec. VI.3.4.b.}]$$

Donde:

- D_{exterior}: diámetro exterior del fermentador (1,87 m).

- D interior: diámetro interior del fermentador (1,85 m).

VI.3.4.1. Cálculo de h_{Fi}

El valor de h_{Fi} será el mismo que el de h_{se} , por lo que se obtiene el mismo dato de la bibliografía:

$$h_{Fi} = 573,39 \frac{W}{m^2 \cdot K} = 493 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$$

VI.3.4.2. Cálculo de h_{Fe}

Para calcular este coeficiente de convección externo al fermentador, se tendrá en cuenta la convección libre, puesto que el exterior será el ambiente que rodea al fermentador. En definitiva, se considerará que la pared del fermentador está en contacto con el aire, por lo que no se dará la convección forzada.

En el cálculo de dicho coeficiente se utilizarán ecuaciones empíricas y nuevamente se hará uso de distintos números adimensionales. Al tratarse de una estructura cilíndrica, se usará la siguiente ecuación:

$$Nu = C \cdot Ra^n \quad [\text{Ec. VI.3.4.1.a.}]$$

Los valores de C y n son función del número de Rayleigh ("Flujo de fluidos e intercambio de calor" Octave Levenspiel, 1993):

	Ra	C	n
Placas y cilindros verticales	$< 10^4$	1,36	0,2
	$10^4 - 10^9$	0,55	0,25
	$> 10^9$	0,1	0,33

Tabla VI.3.4.1.a.: Valores de C y n según el valor del número de Rayleigh (Levenspiel, 1993).

Los números adimensionales que van a utilizarse para el cálculo de este coeficiente de convección son el número de Grashof y el número de Rayleigh, que vienen expresados por las siguientes ecuaciones:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot (T_p - T_a) \cdot \rho^2}{\mu^2} \quad [\text{Ec. VI.3.4.1.b.}]$$

$$Ra = Gr \cdot Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot (T_p - T_a) \cdot \rho^2}{\mu^2} \cdot \left(\frac{\mu \cdot C_p}{k} \right) \quad [\text{Ec. VI.3.4.1.c.}]$$

Donde:

- L: altura total del fermentador sin tener en cuenta la altura del faldón (6,36 m).
- T_p : temperatura de la pared del fermentador que, teniendo en cuenta que la resistencia de la pared es muy pequeña en comparación con las otras resistencias, puede considerarse que es igual a la temperatura del caldo de fermentación (30°C).
- T_a : temperatura ambiente (20°C).
- ρ : densidad del aire a 20°C (1,205 kg/m³).
- μ : viscosidad del aire a 20°C (0,000185 kg/m·s).
- C_p : calor específico del aire (0,24 kcal/kg·°C).
- k: conductividad térmica del aire a 20°C (0,0262 W/m·K = 0,0221 kcal/h·m·°C).
- g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).
- β : coeficiente de expansión volumétrica:

$$\beta = \frac{1}{T_a(K)} = \frac{1}{20 + 273} = 3,41 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

A continuación, se obtendrá el número de Rayleigh. Para ello, primero deben calcularse el Gr y el Pr, ya que el Ra está en función de estos:

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 0,00341 \cdot 6,36^3 \cdot (303 - 293) \cdot 1,205^2}{0,000185^2} = 3,65 \cdot 10^9$$

$$Pr = \frac{0,24 \cdot 0,000185}{0,0221/3600} = 7,23$$

Por tanto, ya puede conocerse el valor del número de Rayleigh:

$$Ra = Gr \cdot Pr = 3,65 \cdot 10^9 \cdot 7,23 = 2,64 \cdot 10^{10}$$

Por consiguiente, la expresión más adecuada del número de Nusselt en este caso es:

$$Nu = \frac{h_{Fe} \cdot D_o}{k_{aire}} = 0,1 \cdot Ra^{1/3} \quad [\text{Ec. VI.3.4.1.d.}]$$

Aún así, deberá comprobarse que puede aplicarse esta expresión, y tratándose de una superficie vertical cilíndrica se aplica la siguiente expresión:

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{Gr^{0,25}} \quad [\text{Ec. VI.3.4.1.e.}]$$

Donde:

- D: diámetro exterior del fermentador (1,87 m).
- L: altura total del fermentador sin tener en cuenta la altura del faldón (6,36 m).

Se obtiene:

$$\frac{D}{L} = \frac{1,87}{6,36} = 0,29$$

$$\frac{35}{Gr^{0,25}} = \frac{35}{(3,65 \cdot 10^9)^{0,25}} = 0,14$$

Como puede comprobarse, la relación D/L es mayor que el otro término, por lo que se cumple la relación, pudiéndose utilizar la expresión del Nusselt anteriormente descrita. Despejando de dicha ecuación se obtiene:

$$h_{Fe} = 0,1 \cdot Ra^{1/3} \cdot \frac{k_{aire}}{D_o} \quad [\text{Ec. VI.3.4.1.f.}]$$

$$h_{Fe} = 0,1 \cdot (2,64 \cdot 10^{10})^{1/3} \cdot \frac{0,0221}{1,87} = 3,52 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$$

VI.3.4.3. Resultado de U_F

A continuación se procede con el cálculo de U_F, como indica la ecuación [Ec. VI.3.4.a.]:

$$\frac{1}{U_F} = \frac{1}{h_{Fi}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{t_{pared\ fermentador} \cdot A_{interior}}{k_{pared\ fermentador} \cdot A_{ml}} + \frac{A_{interior}}{h_{Fe} \cdot A_{exterior}}$$

$$\frac{1}{U_F} = \frac{1}{493} + \frac{1}{2} \cdot \frac{0,006 \cdot 17,16}{14 \cdot 28,79} + \frac{17,16}{3,52 \cdot 17,47} = 0,28 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right)^{-1}$$

$$U_F = 3,56 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

El valor hallado de U_F corresponde a una temperatura de 20°C aunque si la temperatura fuese distinta, esto no afectaría al valor obtenido puesto que no variaría significativamente.

Si se comparan los valores finales de U_F y U_s posteriormente calculados, puede considerarse que el valor de U_F no afecta a los cálculos, debido a que su valor es mucho menor que el de U_s . Su significado es que el calor retirado con el agua que circula por el interior del serpentín es mucho mayor que el que se disipa a la atmósfera.

VI.3.5. Estimación de los grados de libertad y selección de las variables de diseño

Se define grado de libertad de un sistema como el número de variables que deben especificarse previamente al cálculo de las demás variables restantes.

Se ha podido comprobar, que para el diseño del serpentín, se tienen tres relaciones de diseño y doce variables, que se muestran a continuación:

➤ RELACIONES DE DISEÑO:

Nº	Relación de diseño
1	$Q_g = [U_F \cdot A \cdot (T_F - T_B)] + (U_S \cdot a \cdot \Delta T_{mk})$
2	$\Delta T_{mk} = \frac{\frac{T_{cal,salida} - T_{cal,entrada} + T_{fri,entrada} - T_{fri,salida}}{\ln \frac{T_{cal,salida} - T_{fri,entrada}}{T_{cal,entrada} - T_{fri,salida}}}}{\ln \frac{\Delta T_F}{\Delta T_S}} = \frac{\Delta T_F - \Delta T_S}{\ln \frac{\Delta T_F}{\Delta T_S}}$
3	$U_S \cdot a \cdot \Delta T_{mk} = -W \cdot C_p \cdot (T_F - T_B)$

Tabla VI.3.5.a.: Relaciones de diseño.

➤ VARIABLES DEL SISTEMA:

Nº	Variable	Descripción
1	U_F	Coeficiente global de transmisión de calor entre la masa del fermentador y el ambiente.
2	U_s	Coeficiente global de transmisión de calor entre el agua de refrigeración y la masa del fluido en el
3	A	Área del fermentador.
4	a	Área del serpentín.
5	Q_g	Cantidad de calor que producirá la reacción de fermentación.
6	w	Caudal de agua de refrigeración.
7	C_p	Calor específico del agua de refrigeración.
8	T_F	Temperatura de masa del fermentador.
9	T_a	Temperatura ambiente.
10	T_E	Temperatura de entrada del agua de refrigeración.
11	T_S	Temperatura de salida del agua de refrigeración.
12	ΔT_{ml}	Incremento de temperatura media logarítmica.

Tabla VI.3.5.b.: Variables que componen el sistema.

Por lo que los grados de libertad serán:

$$(\text{GRADOS DE LIBERTAD}) = (\text{Nº VARIABLES}) - (\text{Nº RELACIONES DE DISEÑO}) = 12 - 3 = 9$$

El serpentín tendrá 9 grados de libertad en el caso de que se considere totalmente aislado, aunque muchos de ellos se eliminarán debido a que existen variables que tienen un valor fijo asignado. Estas variables son:

U_F (kcal/h·m ² ·°C)	3,56
U_s (kcal/h·m ² ·°C)	436,45
A (m ²)	17,16
Q_g (kcal/h)	19776,32
C_p (kcal/kg·°C)	1
T_F (°C)	30
T_a (°C)	20
T_E (°C)	25

Tabla VI.3.5.c.: Variables del sistema con valores fijos.

Quedaría, por tanto, un grado de libertad. Este grado de libertad correspondería a una variable de diseño y las que se calculen a partir de las ecuaciones del sistema se considerarán variables de estado.

Deberá realizarse un algoritmo de selección de variables para elegir cuál de las cuatro variables (a , w , T_s , ΔT_{ml}) será la variable de diseño.

En primer lugar se construirá una tabla con tantas columnas como variables haya en el sistema, y tantas filas como relaciones de diseño haya. A continuación, se pondrá una “X” en la casilla que relacione la variable con la ecuación en que participe:

		Variables de diseño											
		U _F	U _S	A	a	Q _g	w	C _p	T _F	T _a	T _E	T _s	ΔT_{ml}
Relaciones de diseño	1	X	X	X	X	X			X	X			X
	2								X		X	X	X
	3		X		X		X	X			X	X	X

Tabla VI.3.5.d.: Algoritmo de selección de variables.

A continuación se eliminarán las variables que tienen un valor fijo, quedando la tabla de la siguiente manera:

		Variables de diseño			
		a	w	T _s	ΔT_{ml}
Relaciones de diseño	1	X			X
	2			X	X
	3	X	X	X	X

Tabla VI.3.5.e.: Algoritmo de selección de variables.

En último lugar se procederá a la aplicación del algoritmo: primeramente se tacha la columna que contenga una sola “X” y la fila que corresponda a esa “X”, que en este caso corresponde a la columna de “w”.

Se operará de esta manera hasta que quede una columna sin tachar, que corresponderá con la variable de diseño:

		Variables de diseño			
		a	w	T _s	ΔT_{ml}
Relaciones de diseño	1	X			X
	2			X	X
	3	X	X	X	X

Diagram illustrating the elimination process:

- Column **w** is marked for elimination (1º).
- Row **1** is marked for elimination (1º).
- Column **a** is marked for elimination (2º).
- Column **ΔT_{ml}** is marked for elimination (3º).
- Column **T_s** remains as the design variable (3º).

Tabla VI.3.5.f.: Algoritmo de selección de variables.

Como puede observarse en la tabla VI.3.5.f., la variable de diseño en este caso será la temperatura de salida del agua refrigerante, ya que es la columna que queda sin eliminar. El diagrama de flujo de información es el siguiente:

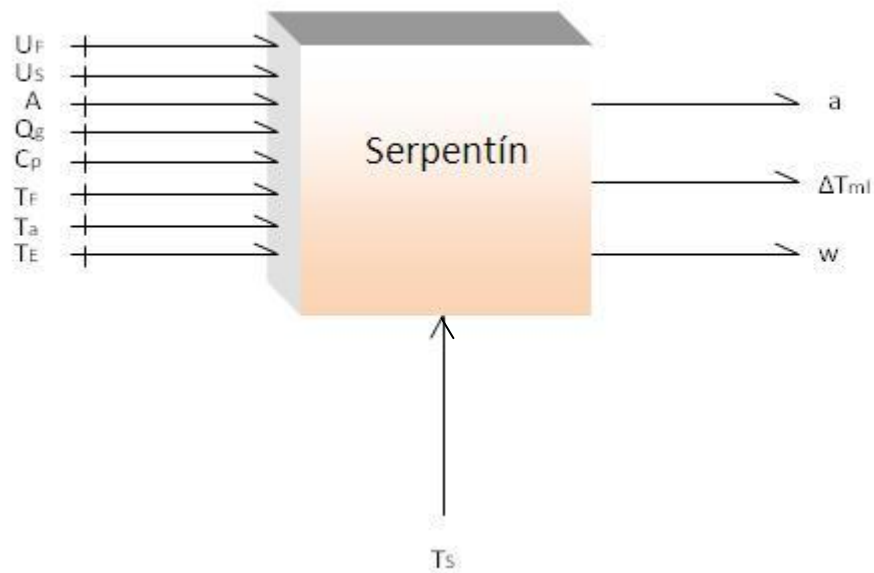
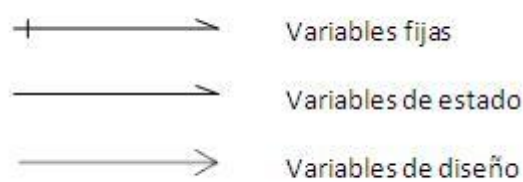


Figura VI.3.5.a.: Diagrama de flujo de información del serpentín.

Donde:



De esta manera, se establece un orden de cálculo, donde primeramente se le asignará un valor a la variable de diseño (T_s). Sabiendo los valores de T_s , T_E y T_F se calcula el incremento de temperatura media logarítmica (relación de diseño 2).

A continuación, sabiendo el valor de ΔT_{ml} y conocidos U_F , U_S , A , Q_g , T_F y T_a , se calcula el área de intercambio de calor, a , mediante la relación de diseño 1.

Por último, con la relación de diseño 3 se calculará el caudal másico de agua que circula por el interior del serpentín.

Esquemáticamente, el orden de cálculo sería el siguiente:

$$T_S \rightarrow [2] \xrightarrow{\Delta T_{mi}} [1] \xrightarrow{a} [3] \xrightarrow{w}$$

Existe otra opción, que sería tachar primero la columna de T_S , quedando de esta manera al final como variable de diseño el área de intercambio, a . Sin embargo, no sería lo más adecuado ya que no se dispone de ningún dato de referencia del que partir.

VI.3.6. Condiciones de operación

Como se comentó anteriormente, se tomará como temperatura de entrada (T_E) 25°C, ya que será la temperatura máxima del agua de red en los meses más calurosos, y por tanto será la situación más desfavorable para el sistema, puesto que se retirará menos calor del medio y será necesario un aporte extra de caudal de agua.

Por otro lado, se probarán varias temperaturas de salida, T_S , y a continuación se comenzará a realizar los cálculos en el orden anteriormente descrito, de manera que se obtenga una combinación del área del serpentín, a , y el caudal másico del agua refrigerante, w , óptima.

Igualmente, se calculará la longitud total del serpentín, l , que viene expresada por la siguiente ecuación, para secciones de tuberías circulares:

$$l = \frac{a}{\pi \cdot D_0} \quad [\text{Ec. VI.3.6.a.}]$$

Donde:

- l : longitud del serpentín (m).
- a : área de intercambio de calor del serpentín (m²).
- D_0 : diámetro exterior del serpentín (m).

El diámetro exterior viene determinado por las dimensiones nominales establecidas por ASME B31.3.

El material del que está construido el serpentín es, al igual que el fermentador, de acero inoxidable AISI 316L, debido a que el fluido donde se sumerge tiene propiedades corrosivas. Las dimensiones nominales del serpentín son las siguientes:

D nominal (in)	Do (m)	Di (m)	t (mm)
1/2	0,0213	0,0171	2,11

Tabla VI.3.6.a.: Dimensiones nominales del serpentín.

Otro parámetro que debe conocerse es el número de vueltas del serpentín:

$$n = \frac{a}{\pi^2 \cdot D_e \cdot D_o} \quad [\text{Ec. VI.3.6.b.}]$$

Donde:

- n: número de vueltas del serpentín.
- De: diámetro de la espiral, que en el caso de considerar un espacio de 10 centímetros por cada lado en función del diámetro interno del fermentador es de 1,65 metros.
- D0: diámetro exterior del serpentín, que según las dimensiones nominales es de 0,0213 metros.
- a: área del serpentín, en m².

Para asegurar una buena instalación del serpentín en el interior del fermentador, debe conocerse su altura, que se calculará mediante la siguiente expresión:

$$h = 2 \cdot n \cdot D_o \quad [\text{Ec. VI.3.6.c.}]$$

A continuación se muestra una tabla que recoge los diversos resultados partiendo de de distintas temperaturas de salida, respetando el orden de cálculo establecido:

Ts (°C)	ΔTml	a (m²)	w (kg/h)	l (m)	n	h (m)
25,5	4,75	9,25	38332,16	138,29	26,68	1,14
26	4,48	9,80	19166,08	146,44	28,25	1,20
27	3,92	11,22	9583,04	167,61	32,34	1,38
28	3,27	13,41	6388,69	200,44	38,67	1,65
29	2,49	17,67	4791,52	264,05	50,94	2,17

Tabla VI.3.6.b.: Resultados obtenidos.

Se elegirá como temperatura de salida 28°C, ya que este valor proporciona una mejor relación caudal-número de vueltas.

Sabiendo esto, puede conocerse el calor que se retira del sistema mediante la siguiente ecuación:

$$Q = w \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [\text{Ec. VI.3.6.d.}]$$

$$Q = 6388,69 \cdot 1 \cdot (28 - 25) = 19166,07 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Se puede comprobar que el calor que retira el agua de refrigeración es muy parecido al que se genera en el proceso fermentativo, admitiendo así que la disipación a la atmósfera es despreciable.

VI.3.7. Cálculo definitivo de los parámetros

- Cálculo definitivo de h_{si}:

Una vez conocido el caudal másico de agua refrigerante, puede hallarse el coeficiente de convección en el interior del serpentín. La ecuación que establecía la dependencia del coeficiente de convección con el caudal másico era la siguiente:

$$h_{si, \text{corregido}} = 13015,22 \cdot w^{0,8} \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \left(\frac{\text{s}}{\text{kg}} \right)^{0,8}$$

Sustituyendo el valor del caudal másico (6388,69 kg/h = 1,77 kg/s) en la anterior expresión, se obtiene el valor final del coeficiente de convección h_{si}:

$$h_{si, \text{corregido}} = 13015,22 \cdot 1,77^{0,8} = 20550,87 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Por otro lado, deberá calcularse de nuevo el número de Reynolds, aunque este se encuentra en función de la velocidad lineal, por lo que habrá que transformar el caudal másico, w , en términos de velocidad mediante la ecuación de continuidad:

$$Q = v \cdot S \rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{w}{\rho \cdot S} = \frac{4 \cdot w}{\rho \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 1,77}{997,07 \cdot \pi \cdot 0,0171^2} = 7,73 \frac{m}{s}$$

Se sustituye este valor en la expresión del número de Reynolds anteriormente descrita y se obtiene:

$$Re = 19071,47 \cdot 7,73 = 1,47 \cdot 10^5$$

- Cálculo definitivo de h_{se} y h_{fi} :

Anteriormente, se estableció un valor de h_{se} de 493 kcal/h·m²·°C. Dicho valor fue facilitado por la bibliografía pero ahora puede determinarse su valor despejándolo de la expresión de U_s :

$$\begin{aligned} \frac{1}{U_s} &= \frac{1}{h_{si} \cdot \left(\frac{D_{Ti}}{D_{To}}\right)} + \frac{1}{2} \frac{D_{To}}{k_{serpentín}} \cdot \ln\left(\frac{D_{To}}{D_{Ti}}\right) + \frac{1}{h_{se}} \\ \frac{1}{h_{se}} &= \frac{1}{U_s} - \frac{1}{h_{si} \cdot \left(\frac{D_{Ti}}{D_{To}}\right)} - \frac{1}{2} \cdot \frac{D_{To}}{k_{serpentín}} \cdot \ln\left(\frac{D_{To}}{D_{Ti}}\right) \\ &= \frac{1}{436,45} - \frac{1}{20550,87 \cdot \frac{0,0171}{0,0213}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{0,0213}{14} \cdot \ln\left(\frac{0,0213}{0,0171}\right) \\ \frac{1}{h_{se}} &= 2,06 \cdot 10^{-3} \rightarrow h_{se} = h_{fi} = 484,65 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \end{aligned}$$

El valor obtenido es muy parecido al proporcionado por la bibliografía (493 kcal/h·m²·°C), por lo que se dará por bueno este valor utilizado en los cálculos.

ANEXO VII: SISTEMA DE AIREACIÓN

VII.1. Introducción

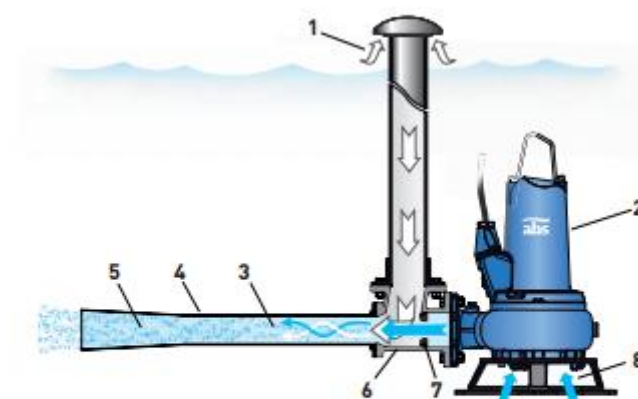
En el Capítulo 10 del presente proyecto se describió el sistema de aireación de los fermentadores que llevan a cabo el proceso fermentativo de obtención de vinagre.

El dispositivo encargado de esta función es una bomba de inyección, conocido como Venturi Jet.

Su funcionamiento se basa en el principio de inyección a través del efecto venturi, produciendo una mezcla efectiva de aire-líquido creando una óptima aireación y suspensión de los sólidos. La velocidad del flujo de líquido primario generado por la bomba se acelera al salir a través de una boquilla de menor sección reduciendo lo suficiente la presión interna como para aspirar aire (flujo secundario).

Ambos flujos de líquido y aire se mezclan en el eyector y lo abandonan como un chorro de líquido con burbujas que se incorpora al reactor.

A continuación se muestra esquemáticamente su funcionamiento y las partes que componen este equipo:



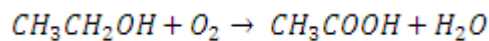
- 1. Toma de aire
- 2. Bomba sumergible XFP
- 3. Zona de mezcla
- 4. Eyector

- 5. Flujo mixto
- 6. Cámara del venturi
- 7. Entrada boquilla
- 8. Entrada de líquido

Para poder seleccionar el modelo de Venturi Jet que se utilizará, deberá conocerse el consumo de oxígeno en el proceso de fermentación acética, para determinar así el caudal de aire que habrá que suministrar al proceso.

VII.2. Consumo de oxígeno

Según la estequiometría de la reacción:



El número de moles de oxígeno que se consumen serán igual a la cantidad de moles de etanol que reaccionan para producir los mismos moles de ácido acético (estequiometría 1:1).

Por tanto, teniendo en cuenta que:

- 1º de acidez equivale a una concentración de 10 g/L
- La velocidad de acetificación es:

$$\frac{0,2^\circ \text{AcH}}{h}$$

Se pueden calcular los moles de oxígeno que se consumen en una hora:

$$\frac{0,2^\circ \text{AcH}}{h} \cdot \frac{10 \text{ g AcH/L}}{1^\circ \text{AcH}} \cdot \frac{1 \text{ mol AcH}}{60 \text{ g AcH}} = 0,033 \frac{\text{mol AcH}}{L \cdot h} = 0,033 \frac{\text{mol EtOH}}{L \cdot h}$$

Multiplicando por los litros de etanol que se alimentan en cada ciclo:

$$0,033 \frac{\text{mol EtOH}}{L \cdot h} \cdot 6000 \text{ L EtOH} = 200 \frac{\text{mol EtOH}}{h} = 200 \frac{\text{mol O}_2}{h}$$

Considerando gas ideal, $PV=nRT$, se puede determinar el caudal que debe inyectarse en condiciones normales ($P = 1 \text{ atm}$ y $T = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$):

$$Q_{O_2} = \frac{\left(\frac{n}{h}\right) \cdot R \cdot T}{P} = \frac{200 \frac{\text{moles O}_2}{h} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 273 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 4477,2 \frac{\text{L}}{h} = 4,5 \frac{\text{Nm}^3}{h} \text{ O}_2$$

VII.3. Consumo máximo de oxígeno y caudal de oxígeno suministrado

En la fase exponencial se produce la máxima demanda de oxígeno por parte de las bacterias, en el caso de las bacterias acéticas usadas (*Acetobacter aceti*) en el proceso diseñado, esta demanda ronda los 90 mmol de oxígeno por litro y por hora.

Sabiendo que el volumen útil del fermentador es de 12000 litros, la demanda máxima del sistema será de:

$$V_{\text{útil fermentador}}(L) \cdot \text{Máxima demanda de } O_2 \left(\frac{\text{mmol } O_2}{L \cdot h} \right) = \frac{12000 L \cdot 90 \text{ mmol } O_2}{L \cdot h}$$

$$= 1080000 \frac{\text{mmol } O_2}{h} \cdot \frac{1 \text{ mol } O_2}{1000 \text{ mmol } O_2} = 1080 \frac{\text{mol } O_2}{h}$$

Por tanto, en este caso se tiene un caudal de:

$$Q_{O_2} = \frac{\left(\frac{n}{h} \right) \cdot R \cdot T}{P} = \frac{1080 \frac{\text{mol } O_2}{h} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot L}{\text{mol} \cdot K} \cdot 273 K}{1 \text{ atm}} = 24176,9 \frac{L}{h} O_2 = 24 \frac{Nm^3}{h} O_2$$

VII.4. Consumo mensual de oxígeno

$$\frac{O_2}{\text{mes}} = 4,5 \frac{Nm^3}{h} O_2 \cdot 24 \frac{h}{\text{día}} \cdot 30 \text{ días} = 3240 \frac{Nm^3}{\text{mes}} O_2$$

ANEXO VIII: MODELADO DE LOS FERMENTADORES MEDIANTE MATLAB

VIII.1. Introducción

Los fermentadores diseñados en el presente proyecto llevan a cabo dos tipos de fermentaciones, por un lado se realiza una fermentación alcohólica de las melazas de remolacha azucarera para obtener etanol, que será a su vez el sustrato del posterior proceso, donde se producirá vinagre mediante una fermentación acética.

Cada una de las fermentaciones se ajusta a un modelo distinto, que varían en función del tipo de proceso, del microorganismo implicado en este y de los efectos inhibitorios que puedan darse debido a la concentración del producto formado, concentración de sustrato y concentración de oxígeno disuelto.

Debido a la complejidad que presenta el proceso de resolución de los modelos utilizados, ha sido necesario hacer uso de un software matemático como MATLAB. Se ha utilizado la función ODE45 para resolver las distintas ecuaciones diferenciales que componen los distintos modelos.

VIII.2. Fermentación alcohólica: Modelo de Hinshelwood

Anteriormente, en el Capítulo 7 de la presente Memoria, se ha comentado el uso de este tipo de modelo para describir el comportamiento de la fermentación alcohólica en presencia de *Saccharomyces cerevisiae*. Las ecuaciones diferenciales que componen el modelo son:

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \left(\frac{S}{K_{sx} + S} \right) (1 - K_{px} P) X$$

$$\frac{dP}{dt} = q_{\max} \left(\frac{S}{K_{sp} + S} \right) (1 - K_{pp} P) X$$

$$\frac{dS}{dt} = - \left(\frac{1}{Y_{x/s}} \frac{dX}{dt} \right) - \left(\frac{1}{Y_{p/s}} \frac{dP}{dt} \right)$$

Donde:

- dX/dt : velocidad de crecimiento del microorganismo.
- dP/dt : velocidad de producción del compuesto de interés.
- dS/dt : velocidad de consumo del sustrato.
- S : concentración del sustrato.
- P : concentración del producto.
- X : concentración de biomasa viable.
- $\mu_{\text{máx}}$: velocidad específica de crecimiento máxima del microorganismo.
- $q_{\text{máx}}$: producción específica máxima del producto de interés.
- K_{sx} y K_{sp} : constantes de inhibición para el sustrato.
- K_{px} y K_{pp} : constantes de inhibición para el producto.
- $Y_{x/s}$: rendimiento biomasa/sustrato.
- $Y_{p/s}$: rendimiento producto/sustrato.

Los parámetros cinéticos se han tomado de la bibliografía (Hui Jin, 2011; Marcelo Blanco, 2005) donde se considera una concentración en azúcares de 200 g/L, utilizándose el mismo tipo de microorganismo. En el presente proyecto se utiliza una concentración de sacarosa de 240 g/L, por lo que los valores de estos parámetros pueden aproximarse, debido a que no varían de manera significativa con respecto a otras concentraciones.

Igualmente, se han tomado como parámetros de ajuste las constantes de inhibición para el producto (K_{px} y K_{pp}). De esta manera se obtiene una concentración de etanol de 83 g/L en 140 horas.

Los valores de los parámetros de crecimiento que se van a utilizar son los siguientes:

$\mu_{\text{máx}} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	0,181
$q_{\text{máx}} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	0,345
$K_{sx} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	36,121
$K_{sp} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	22,851
$K_{px} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	0,016
$K_{pp} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	0,003
$Y_{x/s}$	1,8382
Y_{xs}	0,544
$Y_{p/s}$	0,4236

Tabla VIII.2.1: Parámetros de crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* en cultivo batch para la producción de etanol

Además, el valor inicial de biomasa viable será de 0,2 kg/m³. Este valor ha sido proporcionado por personal del Centro Andaluz de Investigaciones Vitivinícolas (CAIV).

Para poder resolver el sistema de ecuaciones diferenciales en MATLAB se seguirán una serie de pasos:

- 1) Crear un archivo con las constantes
- 2) Definir la función
 - a. Formular las variables
 - b. Definir las ecuaciones algebraicas del sistema
 - c. Escribir las ecuaciones diferenciales
- 3) Programar la resolución de la ODE
 - a. Establecer tiempos iniciales y finales
 - b. Definir los valores iniciales de las variables
 - c. Establecer el tipo de ODE

- d. Representación gráfica
- e. Extracción de resultados en un vector

En definitiva, se crearan tres archivos: uno para definir las constantes, otro donde figurarán las distintas ecuaciones algebraicas y diferenciales que componen el modelo, y por último un archivo donde se programa la función ODE45, destinada especialmente a la resolución de ecuaciones diferenciales complejas en MATLAB.

En el proceso de fermentación alcohólica descrito se pretende obtener etanol con una concentración de aproximadamente 80 g/L en un ciclo fermentativo. Durante un periodo de tiempo, la concentración de etanol fluctuará y no se estabilizará hasta pasados varios ciclos, una vez se estabilice será cuando se considerará esta concentración como la que se alcanza finalmente en el proceso.

En el presente proyecto se han llevado a cabo un total de seis ciclos fermentativos hasta obtener la concentración deseada de etanol. A continuación se muestra la resolución del modelo de Hinshelwood mediante MATLAB para cada uno de los ciclos:

➤ CICLO 1

Los valores iniciales de sustrato, biomasa y etanol son:

$$S_{0_{CICLO\ 1}} = 240\ kg/m^3$$

$$X_{0_{CICLO\ 1}} = 0,2\ kg/m^3$$

$$P_{0_{CICLO\ 1}} = 0$$

A continuación se crean los distintos archivos en MATLAB y se procede a la resolución del modelo planteado por Hinshelwood:

○ **Crear archivo con las constantes:**

```
%Valores contantes
mumax=0.181; % (h-1)
Ksx=36.121; % (Kg/m^3)
Kpx=0.016; % (Kg/m^3)
qmax=0.345; % (h-1)
Ksp=22.851; % (Kg/m^3)
Kpp=0.003; % (Kg/m^3)
Yx_s=1.8382; % (adimensional)
Yp_s=0.4236; % (adimensional)
Yxs=0.544; % (adimensional)
```

Asignar valores a todas las constantes que aparezcan en el sistema. Es recomendable indicar las unidades (Símbolo %)

Usar nombre intuitivo para la función (Hinshelwood). Siempre usar la misma forma: `function dydt=nombre(t,y)`

○ **Definir la función:**

```
function dydt=hinshelwood(t,y)
%Constantes
constanteshinshelwood;
%Formulación de variables
X=y(1); P=y(2); S=y(3);
%Sistema de ecuaciones
dXd_t=mumax*(S/(Ksx+S))*(1-Kpx*P)*X;
dPd_t=qmax*(S/(Ksp+S))*(1-Kpp*P)*X;
dSd_t=-((1/Yx_s)*dXd_t)-((1/Yp_s)*dPd_t);

dydt=[dXd_t; dPd_t; dSd_t];
end
```

Carga del archivo de constantes

Se formulan las variables. Ayuda a escribir el sistema de ecuaciones de forma amigable

Creación de la matriz de ecuaciones diferenciales

○ **Programar la resolución de la ODE:**

```
clear
clc
constanteshinshelwood;
% Tiempo inicial y final
ts=0; % (h)
tf=70; % (h)
% Valores iniciales
So=240; % (kg/m^3)
```

Clear: elimina las variables del "workspace"

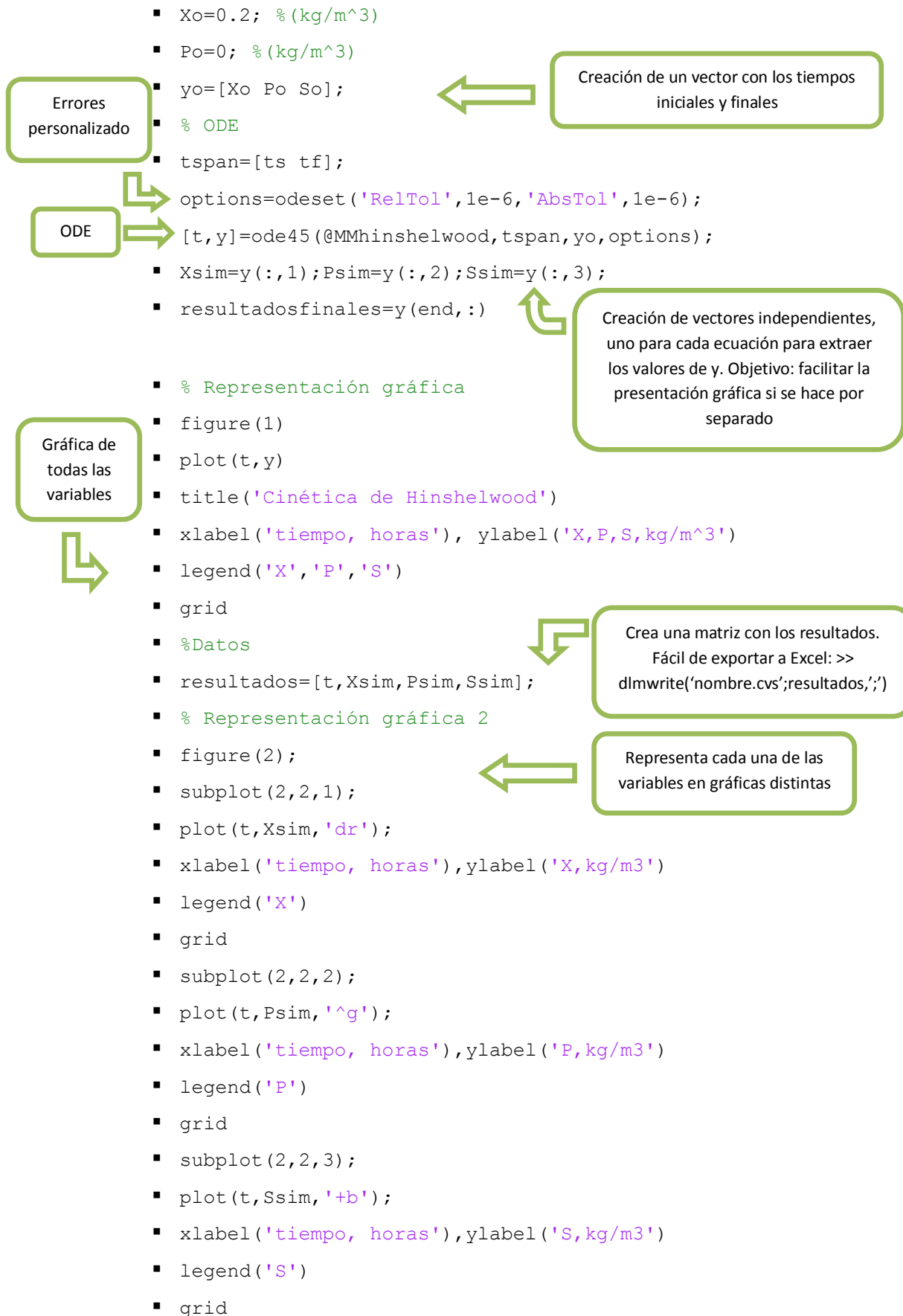
Clc: limpia la ventana de comandos

Carga del archivo de constantes

Se establecen los tiempos iniciales y finales

Se establecen los valores iniciales de sustrato, biomasa viable y producto

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.



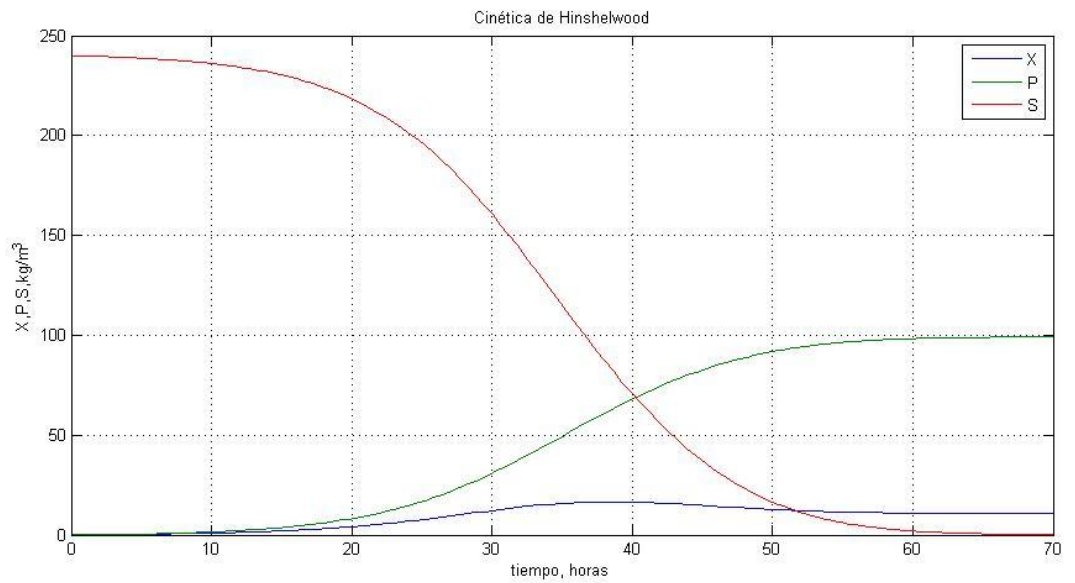


Figura VIII.2.1: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 1.

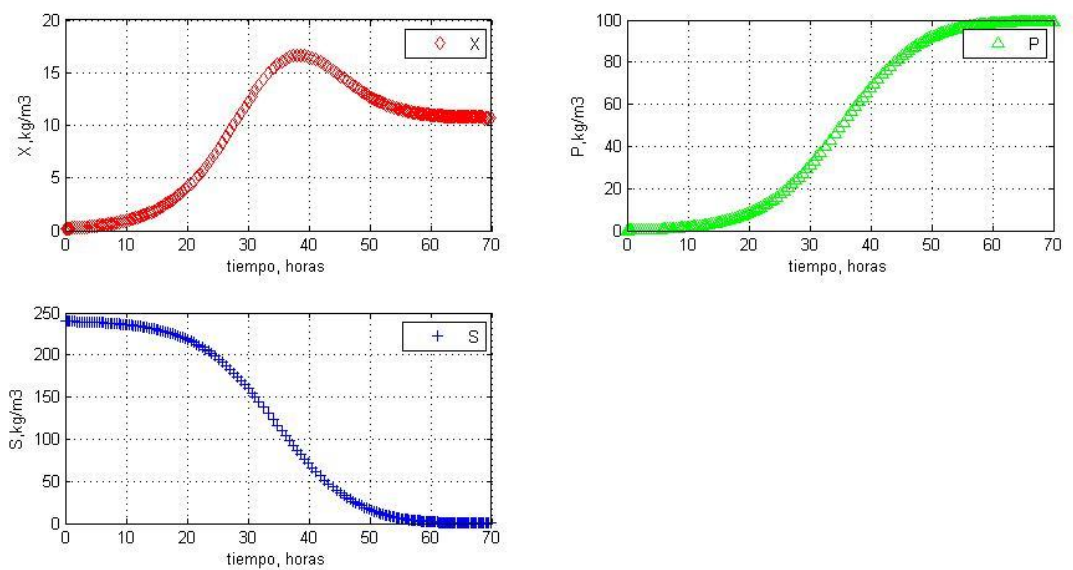


Figura VIII.2.2: Representación gráfica de las variables por separado. Ciclo 1.

Al exportar los datos a Excel se obtuvieron los valores finales de las variables a las 60 horas (tiempo del ciclo), que es el momento donde se obtiene la máxima producción de etanol:

$$S_{fCICLO\ 1} = 2,7 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{fCICLO\ 1} = 11 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{fCICLO\ 1} = 99 \text{ kg/m}^3$$

➤ CICLO 2

Una vez pasadas las 60 horas del primer ciclo se realiza un vaciado del fermentador del 50%, descargando así 6000 litros de etanol.

Una vez se ha realizado la descarga, en el fermentador quedan los otros 6000 litros restantes, componiendo estos litros la mitad de la concentración de etanol alcanzada, la mitad de la concentración de biomasa y la mitad del sustrato que ha quedado al final del ciclo.

Para comenzar el segundo ciclo, es necesario adicionar nuevamente 6000 litros de melaza diluida para completar los 12000 litros de volumen de trabajo. Igualmente se adicionará biomasa para poder llevar a cabo el nuevo proceso fermentativo.

Los valores iniciales para el segundo ciclo serán:

$$S_{0CICLO\ 2} = 0,5 \cdot S_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot S_{fCICLO\ 1} = 0,5 \cdot 240 + 0,5 \cdot 2,7 = 121,35 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{0CICLO\ 2} = 0,5 \cdot X_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot X_{fCICLO\ 1} = 0,5 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 11 = 5,6 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{0CICLO\ 2} = 0,5 \cdot P_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot P_{fCICLO\ 1} = 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 99 = 49,5 \text{ kg/m}^3$$

A partir de este momento sólo se modificará el archivo que corresponde a la programación de la ODE (el resto de archivos permanecerán tal y como han aparecido anteriormente), ya que habrá que ir variando en cada ciclo los valores iniciales de sustrato, biomasa y producto, por tanto, a partir de este ciclo se mostrarán solo los comandos pertenecientes al archivo descrito.

○ **Programar la resolución de la ODE:**

```
clear
clc
constanteshinshelwood;

% Tiempo inicial y final
ts=0; % (h)
tf=200; % (h)
% Valores iniciales
So=121.35; % (kg/m^3)
Xo=5.6; % (kg/m^3)
Po=49.5; % (kg/m^3)
yo=[Xo Po So];
% ODE
tspan=[ts tf];
options=odeset('RelTol',1e-6,'AbsTol',1e-6);
[t,y]=ode45(@MMhinshelwood,tspan,yo,options);
Xsim=y(:,1);Psim=y(:,2);Ssim=y(:,3);
resultadosfinales=y(end,:)
% Representación gráfica
figure(1)
plot(t,y)
title('Cinética de Hinshelwood')
xlabel('tiempo, horas'), ylabel('X,P,S,kg/m^3')
legend('X','P','S')
grid
%Datos
resultados=[t,Xsim,Psim,Ssim];
% Representación gráfica 2
figure(2);
subplot(2,2,1);
plot(t,Xsim,'dr');
xlabel('tiempo, horas'),ylabel('X,kg/m3')
legend('X')
grid
subplot(2,2,2);
```

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

```

plot(t, Psim, '^g');
xlabel('tiempo, horas'), ylabel('P, kg/m3')
legend('P')
grid
subplot(2,2,3);
plot(t, Ssim, '+b');
xlabel('tiempo, horas'), ylabel('S, kg/m3')
legend('S')
grid

```

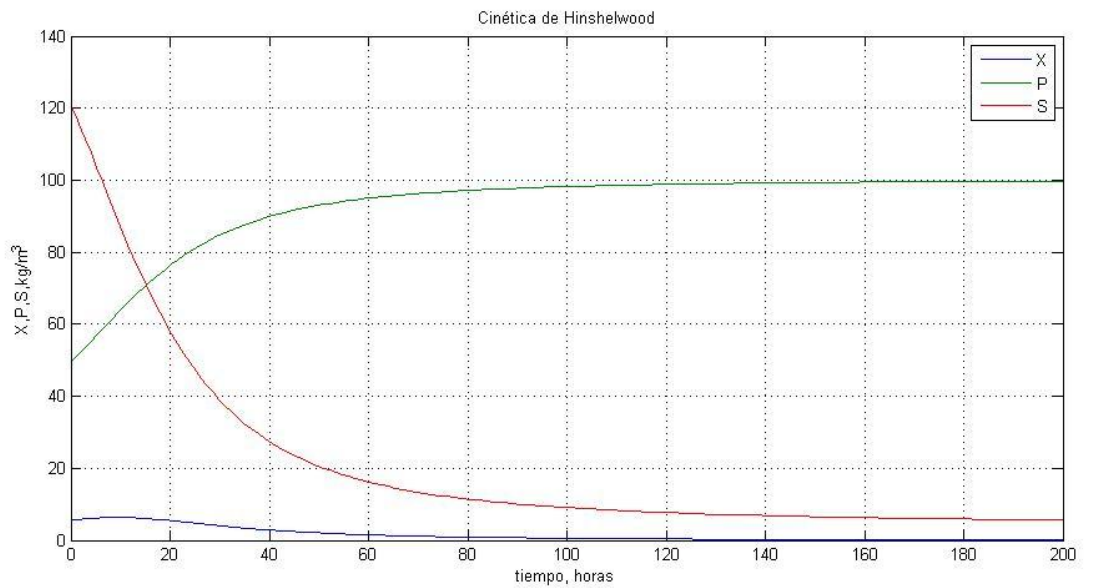


Figura VIII.2.3: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 2.

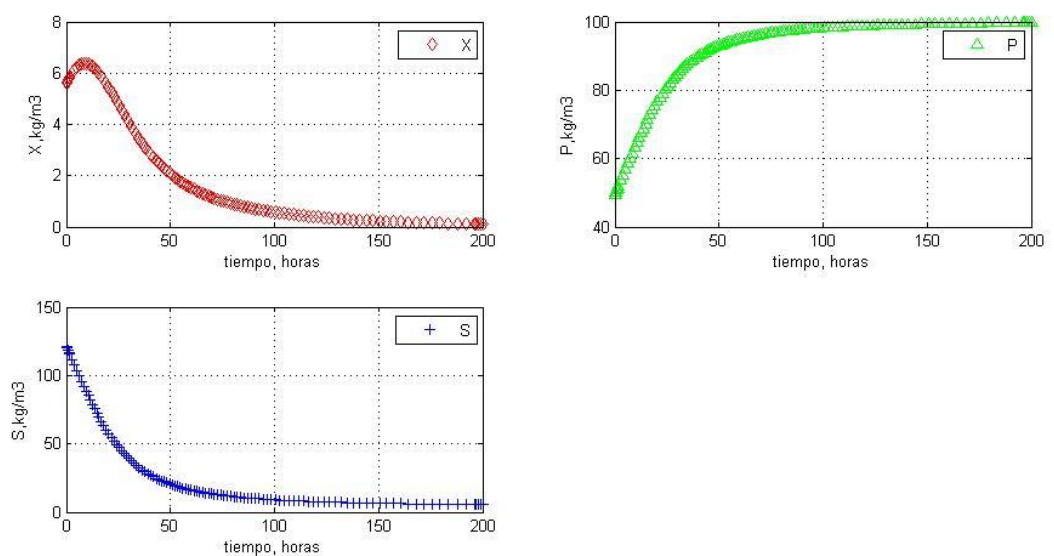


Figura VIII.2.4: Representación gráfica de las variables por separado. Ciclo 2.

Los valores finales de las variables son, a las 100 horas (momento en el que se alcanza la mayor concentración de etanol):

$$S_{f_{CICLO\ 2}} = 10 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{f_{CICLO\ 2}} = 0,65 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{f_{CICLO\ 2}} = 98 \text{ kg/m}^3$$

➤ CICLO 3

En este caso, los valores iniciales de sustrato, biomasa y producto son:

$$S_{0_{CICLO\ 3}} = 0,5 \cdot S_{0_{CICLO\ 1}} + 0,5 \cdot S_{f_{CICLO\ 2}} = 0,5 \cdot 240 + 0,5 \cdot 10 = 125 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{0_{CICLO\ 3}} = 0,5 \cdot X_{0_{CICLO\ 1}} + 0,5 \cdot X_{f_{CICLO\ 2}} = 0,5 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 0,65 = 0,425 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{0_{CICLO\ 3}} = 0,5 \cdot P_{0_{CICLO\ 1}} + 0,5 \cdot P_{f_{CICLO\ 2}} = 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 98 = 49 \text{ kg/m}^3$$

Se introducen los valores iniciales en el archivo de la ODE:

○ Programar la resolución de la ODE:

- clear
- clc
- constanteshinshelwood;
- % Tiempo inicial y final
- ts=0; %(h)
- tf=250; %(h)
- % Valores iniciales
- So=125; %(kg/m^3)
- Xo=0.425; %(kg/m^3)
- Po=49; %(kg/m^3)

```
▪ yo=[Xo Po So];

▪ % ODE
▪ tspan=[ts tf];
▪ options=odeset('RelTol',1e-6,'AbsTol',1e-6);
▪ [t,y]=ode45(@MMhinshelwood,tspan,yo,options);
▪ Xsim=y(:,1);Psim=y(:,2);Ssim=y(:,3);
▪ resultadosfinales=y(end,:)
▪ % Representación gráfica
▪ figure(1)
▪ plot(t,y)
▪ title('Cinética de Hinshelwood')
▪ xlabel('tiempo, horas'), ylabel('X,P,S,kg/m^3')
▪ legend('X','P','S')
▪ grid
▪ %Datos
▪ resultados=[t,Xsim,Psim,Ssim];
▪ % Representación gráfica 2
▪ figure(2);
▪ subplot(2,2,1);
▪ plot(t,Xsim,'dr');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('X,kg/m3')
▪ legend('X')
▪ grid
▪ subplot(2,2,2);
▪ plot(t,Psim,'^g');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('P,kg/m3')
▪ legend('P')
▪ grid
▪ subplot(2,2,3);
▪ plot(t,Ssim,'+b');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('S,kg/m3')
▪ legend('S')
▪ grid
```

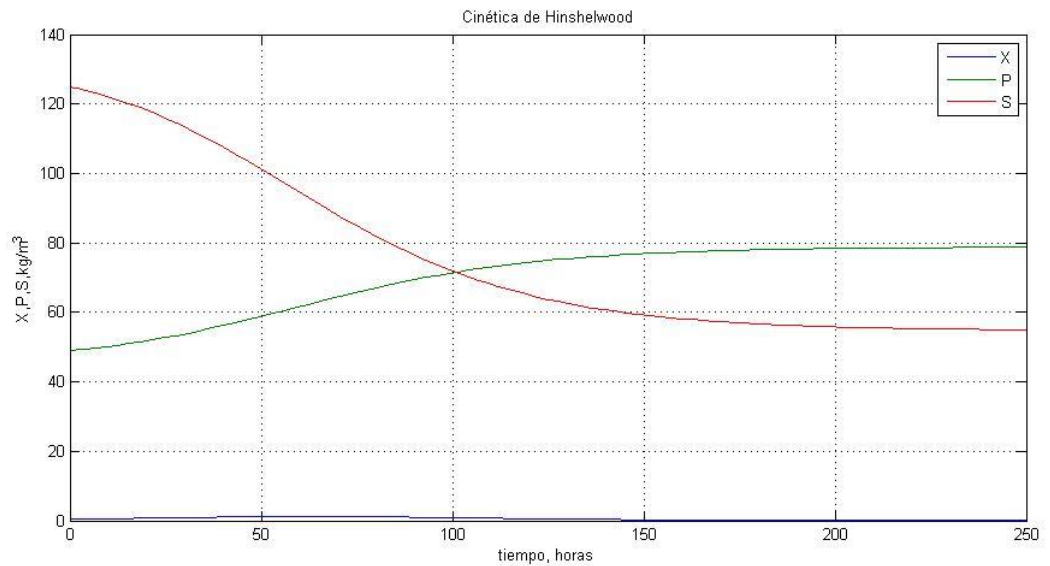


Figura VIII.2.5: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 3.

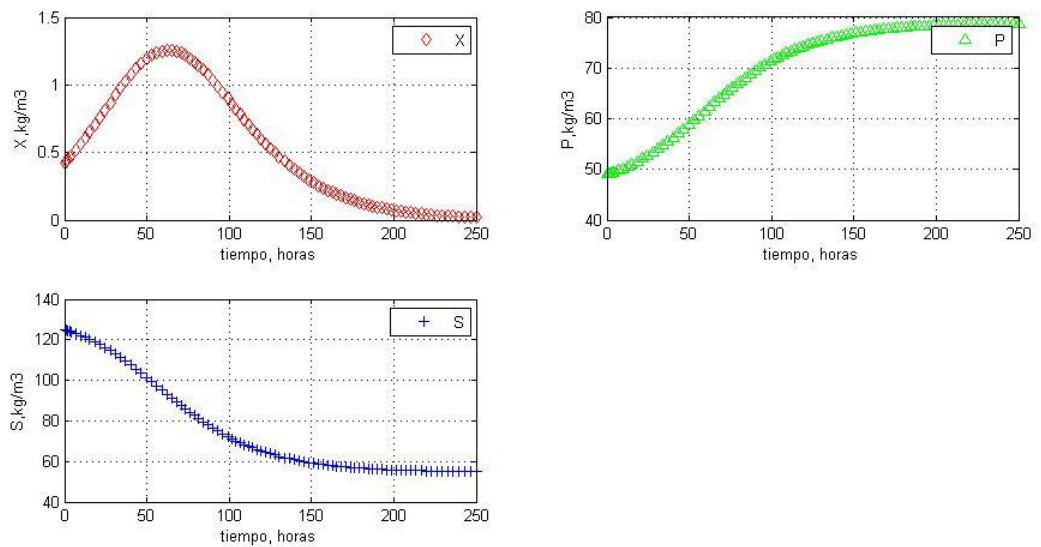


Figura VIII.2.6: Representación gráfica de las variables por separado. Ciclo 3.

Los valores finales de las variables son, a las 200 horas (momento en el que se alcanza la mayor concentración de etanol):

$$S_{f\text{ciclo } 3} = 56 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{fCICLO\ 3} = 0,1 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{fCICLO\ 3} = 78 \text{ kg/m}^3$$

➤ CICLO 4

En este caso, los valores iniciales de sustrato, biomasa y producto son:

$$S_{0CICLO\ 4} = 0,5 \cdot S_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot S_{fCICLO\ 3} = 0,5 \cdot 240 + 0,5 \cdot 56 = 148 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{0CICLO\ 4} = 0,5 \cdot X_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot X_{fCICLO\ 3} = 0,5 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 0,1 = 0,15 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{0CICLO\ 4} = 0,5 \cdot P_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot P_{fCICLO\ 3} = 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 78 = 39 \text{ kg/m}^3$$

Se introducen los valores iniciales en el archivo de la ODE:

○ Programar la resolución de la ODE:

```
clear
clc
constanteshinshelwood;
% Tiempo inicial y final
ts=0; %(h)
tf=200; %(h)
% Valores iniciales
So=148; %(kg/m^3)
Xo=0.15; %(kg/m^3)
Po=39; %(kg/m^3)
yo=[Xo Po So];
% ODE
tspan=[ts tf];
options=odeset('RelTol',1e-6,'AbsTol',1e-6);
[t,y]=ode45(@MMhinshelwood,tspan,yo,options);
```



```
▪ Xsim=y(:,1);Psim=y(:,2);Ssim=y(:,3);
▪ resultadosfinales=y(end,:)
▪ % Representación gráfica
▪ figure(1)
▪ plot(t,y)
▪ title('Cinética de Hinshelwood')
▪ xlabel('tiempo, horas'), ylabel('X,P,S,kg/m^3')
▪ legend('X','P','S')
▪ grid
▪ %Datos
▪ resultados=[t,Xsim,Psim,Ssim];
▪ % Representación gráfica 2
▪ figure(2);
▪ subplot(2,2,1);
▪ plot(t,Xsim,'dr');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('X,kg/m3')
▪ legend('X')
▪ grid
▪ subplot(2,2,2);
▪ plot(t,Psim,'^g');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('P,kg/m3')
▪ legend('P')
▪ grid
▪ subplot(2,2,3);
▪ plot(t,Ssim,'+b');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('S,kg/m3')
▪ legend('S')
▪ grid
```

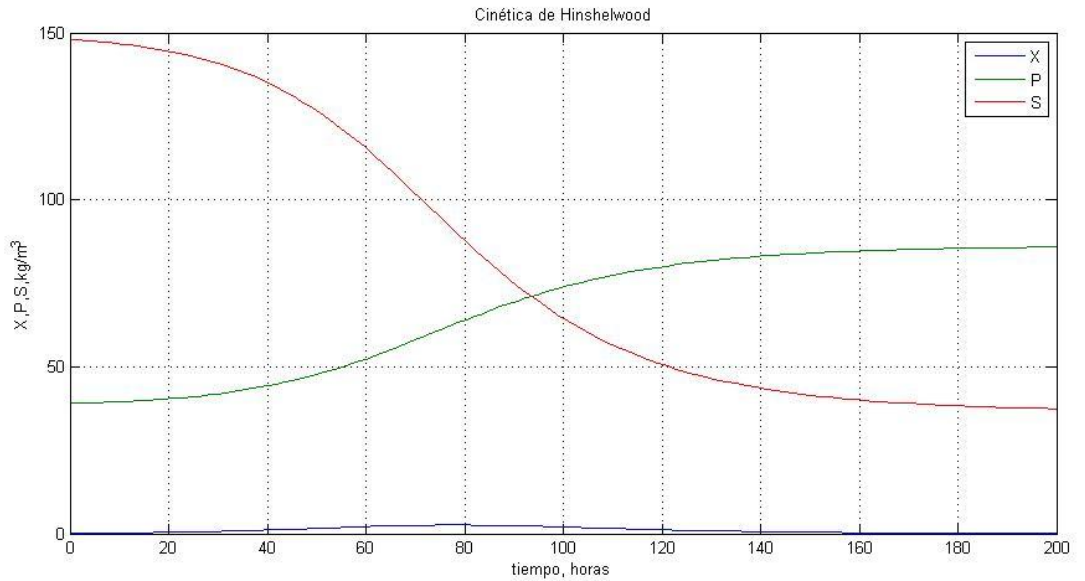


Figura VIII.2.7: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 4.

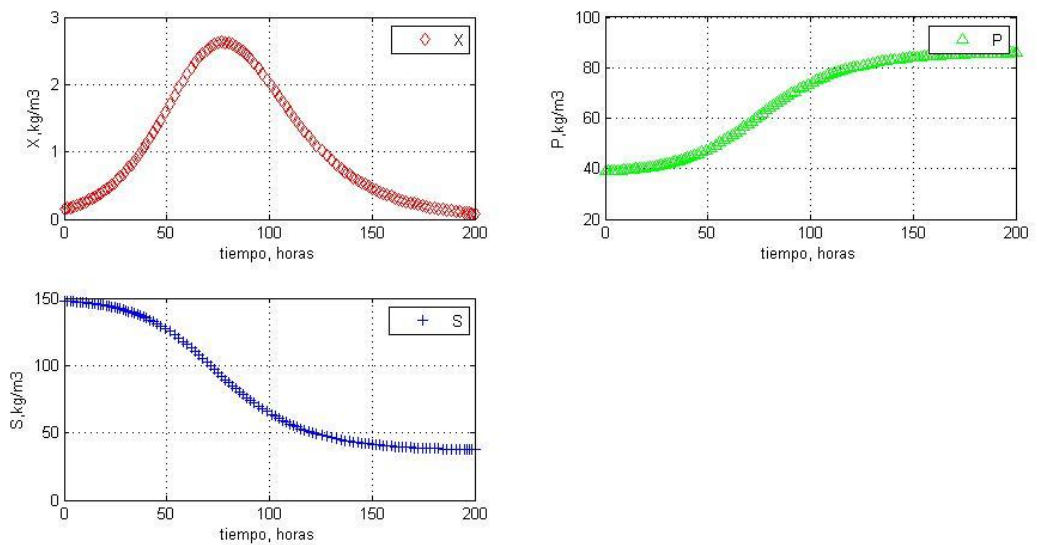


Figura VIII.2.8: Representación gráfica de las variables por separado. Ciclo 4.

Los valores finales de las variables son, a las 150 horas (momento en el que se alcanza la mayor concentración de etanol):

$$S_{f_{CICLO\ 4}} = 40 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{f_{CICLO\ 4}} = 0,5 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{fCICLO\ 4} = 84\ kg/m^3$$

➤ CICLO 5

Los valores iniciales de sustrato, biomasa y producto son, para el quinto ciclo:

$$S_{0CICLO\ 5} = 0,5 \cdot S_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot S_{fCICLO\ 4} = 0,5 \cdot 240 + 0,5 \cdot 40 = 140\ kg/m^3$$

$$X_{0CICLO\ 5} = 0,5 \cdot X_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot X_{fCICLO\ 4} = 0,5 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 0,5 = 0,35\ kg/m^3$$

$$P_{0CICLO\ 5} = 0,5 \cdot P_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot P_{fCICLO\ 4} = 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 84 = 42\ kg/m^3$$

Se introducen los valores iniciales en el archivo de la ODE:

○ Programar la resolución de la ODE:

```
clear
clc
constanteshinshelwood;
% Tiempo inicial y final
ts=0; % (h)
tf=180; % (h)
% Valores iniciales
So=140; % (kg/m^3)
Xo=0.35; % (kg/m^3)
Po=42; % (kg/m^3)
yo=[Xo Po So];
% ODE
tspan=[ts tf];
options=odeset('RelTol',1e-6,'AbsTol',1e-6);
[t,y]=ode45(@MMhinshelwood,tspan,yo,options);
Xsim=y(:,1);Psim=y(:,2);Ssim=y(:,3);
resultadosfinales=y(end,:)
% Representación gráfica
figure(1)
plot(t,y)
title('Cinética de Hinshelwood')
```

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

```

■ xlabel('tiempo, horas'), ylabel('X,P,S,kg/m^3')
■ legend('X','P','S')
■ grid
■ %Datos
■ resultados=[t,Xsim,Psim,Ssim];
■ % Representación gráfica 2
■ figure(2);
■ subplot(2,2,1);
■ plot(t,Xsim,'dr');
■ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('X,kg/m3')
■ legend('X')
■ grid
■ subplot(2,2,2);
■ plot(t,Psim,'^g');
■ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('P,kg/m3')
■ legend('P')
■ grid
■ subplot(2,2,3);
■ plot(t,Ssim,'+b');
■ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('S,kg/m3')
■ legend('S')
■ grid

```

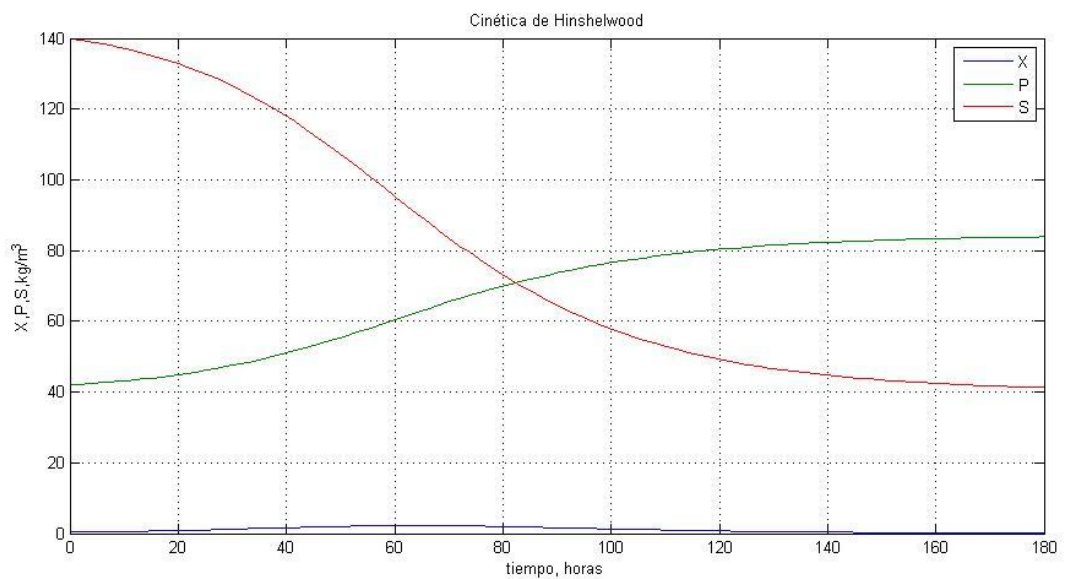


Figura VIII.2.9: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 5.

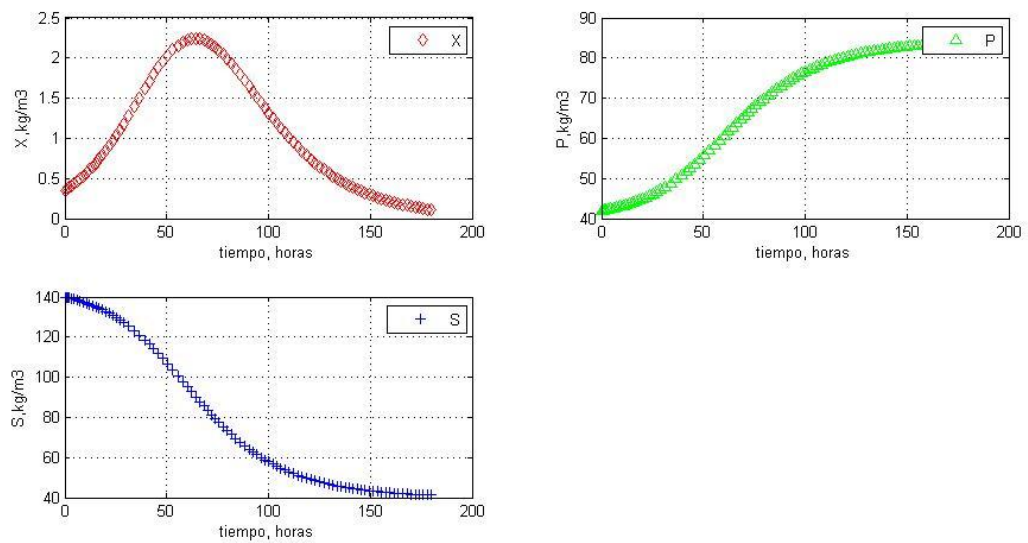


Figura VIII.2.10: Representación gráfica de las variables por separado. Ciclo 5.

Los valores finales de sustrato, biomasa y producto, a las 140 horas (momento en el que se obtiene la mayor concentración de etanol) son:

$$S_{f_{CICLO\ 5}} = 45 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{f_{CICLO\ 5}} = 0,38 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{f_{CICLO\ 5}} = 83 \text{ kg/m}^3$$

➤ CICLO 6

Los valores iniciales de sustrato, biomasa y producto son, para el sexto ciclo:

$$S_{0_{CICLO\ 6}} = 0,5 \cdot S_{0_{CICLO\ 1}} + 0,5 \cdot S_{f_{CICLO\ 5}} = 0,5 \cdot 240 + 0,5 \cdot 45 = 142,5 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{0_{CICLO\ 6}} = 0,5 \cdot X_{0_{CICLO\ 1}} + 0,5 \cdot X_{f_{CICLO\ 5}} = 0,5 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 0,38 = 0,29 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{0_{CICLO\ 6}} = 0,5 \cdot P_{0_{CICLO\ 1}} + 0,5 \cdot P_{f_{CICLO\ 5}} = 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 83 = 41,5 \text{ kg/m}^3$$

Se introducen los valores iniciales en el archivo de la ODE:

- Programar la resolución de la ODE:

```
clear
clc
constanteshinshelwood;
% Tiempo inicial y final
ts=0; %(h)
tf=180; %(h)
% Valores iniciales
So=142.5; %(kg/m^3)
Xo=0.29; %(kg/m^3)
Po=41.5; %(kg/m^3)
yo=[Xo Po So];
% ODE
tspan=[ts tf];
options=odeset('RelTol',1e-6,'AbsTol',1e-6);
[t,y]=ode45(@MMhinshelwood,tspan,yo,options);
Xsim=y(:,1);Psim=y(:,2);Ssim=y(:,3);
resultadosfinales=y(end,:)
% Representación gráfica
figure(1)
plot(t,y)
title('Cinética de Hinshelwood')
xlabel('tiempo, horas'), ylabel('X,P,S,kg/m^3')
legend('X','P','S')
grid
%Datos
resultados=[t,Xsim,Psim,Ssim];
% Representación gráfica 2
figure(2);
subplot(2,2,1);
plot(t,Xsim,'dr');
xlabel('tiempo, horas'),ylabel('X,kg/m3')
legend('X')
grid
subplot(2,2,2);
plot(t,Psim,'^g');
xlabel('tiempo, horas'),ylabel('P,kg/m3')
legend('P')
```

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

- `grid`
- `subplot(2,2,3);`
- `plot(t,Ssim,'+b');`
- `xlabel('tiempo, horas'),ylabel('S,kg/m3')`
- `legend('S')`
- `grid`

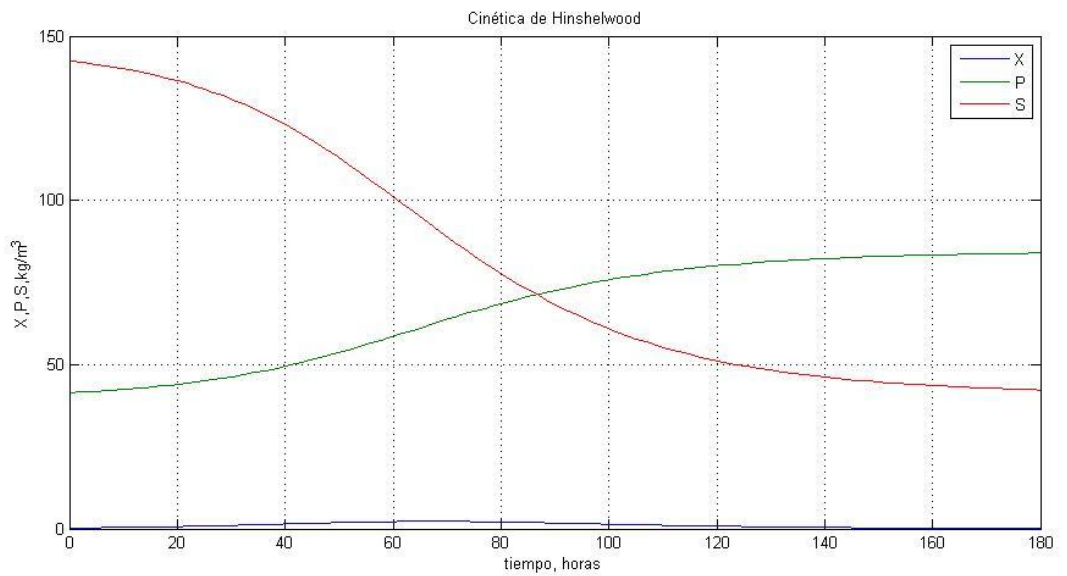


Figura VIII.2.11: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 6.

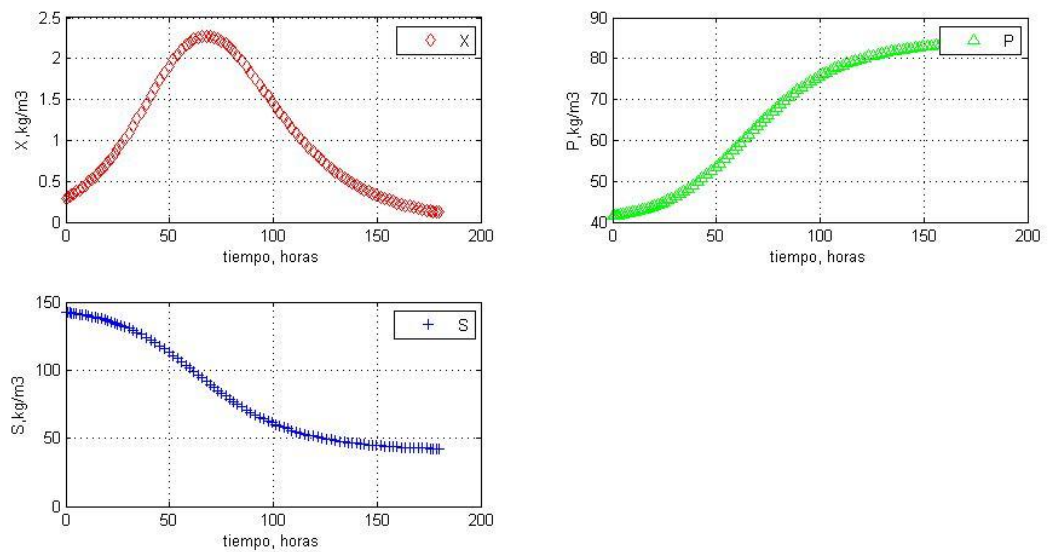


Figura VIII.2.12: Representación gráfica de las variables por separado. Ciclo 6.

Los valores finales de sustrato, biomasa y producto, a las 140 horas (momento en el que se obtiene la mayor concentración de etanol) son:

$$S_{fCICLO\ 6} = 46,7 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{fCICLO\ 6} = 0,48 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{fCICLO\ 6} = 83 \text{ kg/m}^3$$

Como puede observarse, los valores iniciales y finales de sustrato, biomasa y producto se han estabilizado, manteniendo en los dos últimos ciclos prácticamente los mismos valores y obteniendo una concentración de etanol de 83 g/L a las 140 horas.

Puede considerarse, finalmente, que en los sucesivos ciclos se obtendrá una concentración de etanol de 83 g/L en 140 horas:

$$t_{CICLO} = 140 \text{ h}$$

$$[EtOH] = 83 \text{ kg/m}^3 = 83 \text{ g/L}$$

VIII.3. Fermentación acética: Modelo de Monod: inhibición por sustrato, producto y oxígeno.

Al igual que en la fermentación alcohólica, en el Capítulo 7 de la presente Memoria, se ha comentado el uso de este tipo de modelo para describir el comportamiento de la fermentación acética, en este caso en presencia de Acetobacter Aceti. Las ecuaciones diferenciales que componen el modelo son:

$$\mu_g = \mu_{m\acute{a}x} \left(\frac{S}{S + K_{ss} + \left(\frac{S}{K_{is}^2} \right)} \right) \frac{\left(1 + \frac{P}{K_{sp}} \right)}{\left(1 + \left(\frac{P}{K_{ip}} \right)^3 \right)} \frac{\left(\frac{O}{K_{so}} \right)}{\left(1 + \left(\frac{O}{K_{io}} \right)^3 \right)}$$

$$\mu_d = \frac{K_m P^4}{S^3 + K_n}$$

$$\mu = \mu_g - \mu_d$$

$$\frac{dX_v}{dt} = \mu X_v$$

$$\frac{dX_d}{dt} = \mu_d X_v$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\mu_g X_v}{Y_{s/p}}$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{(-\mu_g X_v)}{Y_{x/s}}$$

$$\frac{dO}{dt} = K_{la} (ODOT - O) - \left(\frac{\mu_g X_v}{Y_{x/o}} \right)$$

Donde:

- dX/dt : velocidad de crecimiento del microorganismo.
- dP/dt : velocidad de producción del compuesto de interés.
- dS/dt : velocidad de consumo del sustrato.
- dO/dt : velocidad de consumo del oxígeno.
- S : concentración del sustrato.
- P : concentración del producto.
- O : concentración de oxígeno disuelto.
- *ODOT: concentración de oxígeno en el equilibrio.*
- X_v : concentración de biomasa viable.
- X_d : concentración de biomasa muerta o no viable.
- $\mu_{\text{máx}}$: velocidad específica de crecimiento máxima del microorganismo.

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

- μ_g : velocidad específica de crecimiento .
- μ_d : velocidad específica de muerte global.
- $Y_{x/o}$ y $Y_{x/s}$: Factor de rendimiento.
- K_{ss} , K_{sp} , K_{so} : constantes de inhibición para el sustrato.
- $Y_{x/s}$: rendimiento biomasa/sustrato.
- $Y_{p/s}$: rendimiento producto/sustrato.
- K_{La} : Coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno.
- K_n y K_m : parámetros cinéticos de muerte.

Dicha fermentación comienza con los valores obtenidos en la fermentación alcohólica, por lo que partimos de una concentración de etanol de 83 g/L.

Igualmente, se han tomado como parámetros de ajuste las constantes de inhibición para el sustrato (K_{sp}) y el coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno (K_{La}). De esta manera se obtiene una concentración de ácido acético de 100 g/L en 160 horas.

Los valores de los parámetros de crecimiento que se van a utilizar son los siguientes:

$\mu_{\text{máx.}} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	0,24
$K_{ss} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	19,6
$K_{sp} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	25
$K_{so} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	0,35
$K_{is} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	3,03
$K_{ip} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	29
$Y_{x/s}$	0,0086
$Y_{x/o}$	0,0125
$K_n \text{ ((kg/m}^3\text{)}^3\text{)}$	5,00E+07
$K_m \text{ ((kg/m}^3\text{)}^3\text{)}$	0,03

Tabla VIII.3.1: Parámetros de crecimiento de *Acetobacter Aceti* en cultivo batch para la producción de ácido acético

Los parámetros cinéticos se han tomado de la bibliografía (“Optimum operating conditions in batch operation” M.Macías,I.Caro, D.Cantero. 1995) donde se considera una concentración de etanol de 80 g/L, utilizándose el mismo tipo de microorganismo. En el presente proyecto se utiliza una concentración de etanol de 83 g/L, por lo que los valores de estos parámetros pueden aproximarse, debido a que no varían de manera significativa con respecto a otras concentraciones.

El valor inicial de biomasa viable será de 0,0036 kg/m³.

Se sigue el mismo procedimiento que en la fermentación alcohólica para resolver las ecuaciones diferenciales en MATLAB .

En el proceso de fermentación acética descrito se pretende obtener ácido acético con una concentración de aproximadamente 100 g/L en un ciclo fermentativo. Durante un periodo de tiempo, la concentración de ácido acético fluctuará y no se estabilizará hasta pasados varios ciclos, una vez se estabilice será cuando se considerará esta concentración como la que se alcanza finalmente en el proceso.

En el caso de esta fermentación, se han llevado a cabo un total de cuatro ciclos fermentativos hasta obtener la concentración deseada de acético. A continuación se muestra la resolución del modelo mediante MATLAB para cada uno de los ciclos:

➤ **CICLO 1**

Los valores iniciales de sustrato, biomasa (viable y muerta) y ácido acético son:

$$S_{0CICLO1} = 83 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{0VCICLO1} = 0,0036 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{0dCICLO1} = 0 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{0CICLO1} = 2 \text{ kg/m}^3$$

$$O_{0CICLO1} = 8,0 \text{ ppm}$$

Se procede del mismo modo que en la fermentación alcohólica:

○ **Crear archivo con las constantes:**

```
%Valores contantes (11/11/2013)
mumax=0.24; % (h-1)
Yx_s=0.0086; % (kg biomasa/kg sustrato)
Ys_p=0.77; % (kg sustrato/kg producto)
Ysx=0.0086; % (kg biomasa/kg sustrato)
Yp_x=151; % (kg producto/kg biomasa)
Yp_s=1.30; % (kg producto/kg sustrato)
Yxp=151; % (kg producto/kg biomasa)
Kss=19.6; % (kg/m^3)
Sf=15; % (kg/m^3)
Yxs=116.27; % (kg sustrato/kg biomasa)
Kip=29.0; % (kg/m^3)
ms=4.68; % (h-1)
Kis=3.03; % (kg/m^3)
Ksp=25; % (kg/m^3)
Km=0.03; % (m^3/(kg*h))
Kso=0.35; % (ppm)
Kio=2.1; % (ppm)
Kn=5*10^7; % ((kg/m^3)^3)
Ys_o=0.0125; % (Kg sustrato/kg oxígeno)
Kla=100; % (h-1)
ODOT=1.0; % (ppm)
Yx_o=1.25*10^-2; % (kg biomasa/ kg oxígeno)
```

○ **Definir la función:**

```
function dydt=monod(t,y)
%Constantes
constantesmonod;
%Formulación de variables
S=y(1); Xv=y(2); Xd=y(3); P=y(4); O=y(5);
%Sistema de ecuaciones
mug=mumax*(S/(S+Kss+(S/Kis)^2))*((1+(P/Ksp))/(1+(P/Kip)^3))*((O/Kso)/(1+(O/Kio)^3));
mud=Km*P^4/(S^3+Kn);
mu=mug-mud;
dSdt=(-mug*Xv)/Yx_s;
dXvdt=mu*Xv;
dXddt=mud*Xv;
dPdt=((mug*Xv)/Yx_s)/Ys_p;
dOdt=Kla*(ODOT-O)-((mug*Xv)/Yx_o);
dydt=[dSdt; dXvdt; dXddt; dPdt; dOdt];
end
```

○ **Programar la resolución de la ODE:**

```
clear
clc
constantesmonod;
% Tiempo inicial y final
ts=0; %(h)
tf=150; %(h)
% Valores iniciales
So=83; %(kg/m^3)
Xov=0.0036; %(kg/m^3)
Xod=0; %(kg/m3)
Po=2;%(kg/m^3)
Oo=8.0; %(ppm)
yo=[So Xov Xod Po Oo];
% ODE
tspan=[ts tf];
options=odeset('RelTol',1e-6,'AbsTol',1e-6);
[t,y]=ode45(@MMmonod,tspan,yo,options);
Ssim=y(:,1);Xvsim=y(:,2);Xdsim=y(:,3);Psim=y(:,4);
Osim=y(:,5);
resultadosfinales=y(end,:)
% Representación gráfica
figure(1)
plot(t,y)
title('Cinética de Monod')
xlabel('tiempo, horas'), ylabel('S,Xv,Xd,P,O,kg/m^3')
legend('S','Xv','Xd','P','O')
grid
%Datos
resultados=[t,Ssim,Xvsim,Xdsim,Psim,Osim];
% Representación gráfica 2
figure(2);
subplot(2,2,1);
plot(t,Ssim,'dr');
xlabel('tiempo, horas'),ylabel('S,kg/m3')
legend('S')
grid
subplot(2,2,2);
plot(t,Xvsim,'^g');
xlabel('tiempo, horas'),ylabel('Xv,kg/m3')
legend('Xv')
grid
subplot(2,2,3);
plot(t,Xdsim,'+b');
xlabel('tiempo, horas'),ylabel('Xd,kg/m3')
legend('Xd')
grid
subplot(2,2,4);
plot(t,Psim,'*m');
```

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

- `xlabel('tiempo, horas'), ylabel('P, kg/m3')`
- `legend('P')`
- `grid`
- `subplot(2,2,5);`
- `plot(t, Osim, '+c');`
- `xlabel('tiempo, horas'), ylabel('O, kg/m3')`
- `legend('O')`
- `grid`

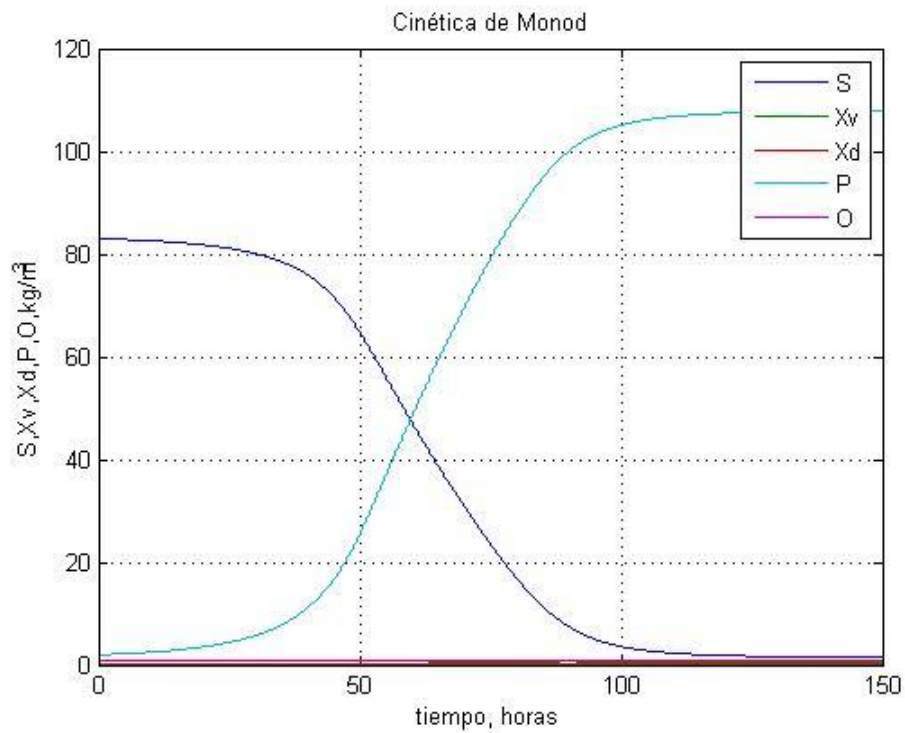


Figura VIII.3.1: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 1

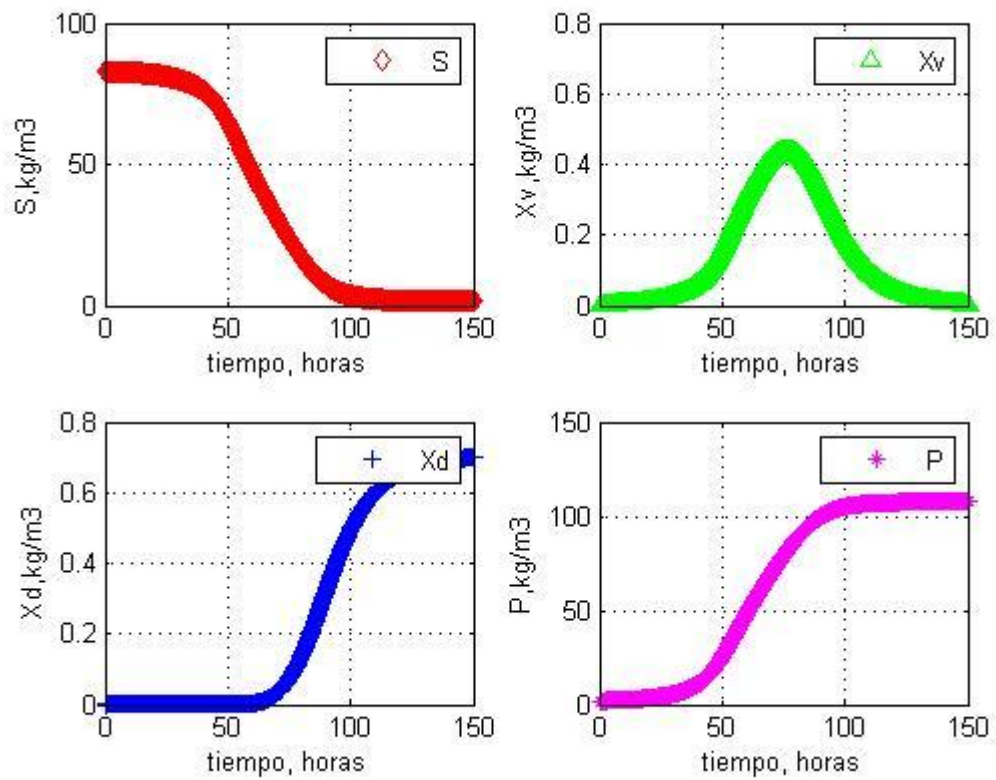


Figura VIII.3.2: Representación gráfica de las variables por separado. Ciclo 1.

Del mismo modo, exportamos los datos a Excel y se obtuvieron los valores finales de las variables a las 100 horas , que es el momento donde se obtiene la máxima producción de ácido acético:

$$S_{f_{ciclo\ 1}} = 4 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{fv_{ciclo\ 1}} = 0,1664 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{fd_{ciclo\ 1}} = 0,5 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{f_{ciclo\ 1}} = 105,41 \text{ kg/m}^3$$

➤ **CICLO 2**

Siguiendo con la misma metodología de la primera fermentación, una vez completado el primer ciclo se realiza un vaciado del fermentador del 50%, descargando así 6000 litros de ácido acético.

Una vez se ha realizado la descarga, en el fermentador quedan los otros 6000 litros restantes, componiendo estos litros la mitad de la concentración de ácido acético alcanzada, la mitad de la concentración de biomasa y la mitad del sustrato que ha quedado al final del ciclo.

Para comenzar el segundo ciclo, es necesario adicionar nuevamente 6000 litros de etanol para completar los 12000 litros de volumen de trabajo. Igualmente se adicionará biomasa para poder llevar a cabo el nuevo proceso fermentativo.

Los valores iniciales para el segundo ciclo serán:

$$S_{0CICLO2} = 0,5 \cdot S_{0CICLO1} + 0,5 \cdot S_{fCICLO1} = 0,5 \cdot 83 + 0,5 \cdot 4 = 43,5 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{0vCICLO2} = 0,5 \cdot X_{0CICLO1} + 0,5 \cdot X_{fCICLO1} = 0,5 \cdot 0,0036 + 0,5 \cdot 0,1664 = 0,085 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{0dCICLO2} = 0,5 \cdot X_{0CICLO1} + 0,5 \cdot X_{fCICLO1} = 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{0CICLO2} = 0,5 \cdot P_{0CICLO1} + 0,5 \cdot P_{fCICLO1} = 0,5 \cdot 2 + 0,5 \cdot 105,41 = 53,7 \text{ kg/m}^3$$

A partir de este momento sólo se modificará el archivo que corresponde a la programación de la ODE (el resto de archivos permanecerán tal y como han aparecido anteriormente), ya que habrá que ir variando en cada ciclo los valores iniciales de sustrato, biomasa y producto, por tanto, a partir de este ciclo se mostrarán solo los comandos pertenecientes al archivo descrito.

○ **Programar la resolución de la ODE:**

- `clc`
- `constantesmonod;`
- `% Tiempo inicial y final`


```
▪ ts=0; %(h)
▪ tf=200; %(h)
▪ % Valores iniciales
▪ So=43.5; %(kg/m^3)
▪ Xov=0.085; %(kg/m^3)
▪ Xod=0.25; %(kg/m3)
▪ Po=53,7;%(kg/m^3)
▪ Oo=8.0; %(ppm)
▪ yo=[So Xov Xod Po Oo];
▪ % ODE
▪ tspan=[ts tf];
▪ options=odeset('RelTol',1e-6,'AbsTol',1e-6);
▪ [t,y]=ode45(@MMmonod,tspan,yo,options);
▪ Ssim=y(:,1);Xvsim=y(:,2);Xdsim=y(:,3); Psim=y(:,4);
  Osim=y(:,5);
▪ resultadosfinales=y(end,:);
▪ % Representación gráfica
▪ figure(1)
▪ plot(t,y)
▪ title('Cinética de Monod')
▪ xlabel('tiempo, horas'), ylabel('S,Xv,Xd,P,O,kg/m^3')
▪ legend('S','Xv','Xd','P','O')
▪ grid
▪ %Datos
▪ resultados=[t,Ssim,Xvsim,Xdsim,PSim,Osim];
▪ % Representación gráfica 2
▪ figure(2);
▪ subplot(2,2,1);
▪ plot(t,Ssim,'dr');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('S,kg/m3')
▪ legend('S')
▪ grid
▪ subplot(2,2,2);
▪ plot(t,Xvsim,'^g');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('Xv,kg/m3')
▪ legend('Xv')
▪ grid
▪ subplot(2,2,3);
▪ plot(t,Xdsim,'+b');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('Xd,kg/m3')
▪ legend('Xd')
▪ grid
▪ subplot(2,2,4);
▪ plot(t,PSim,'*m');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('P,kg/m3')
▪ legend('P')
▪ grid
▪ subplot(2,2,5);
▪ plot(t,Osim,'+c');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('O,kg/m3')
```

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

- legend('o')
- grid

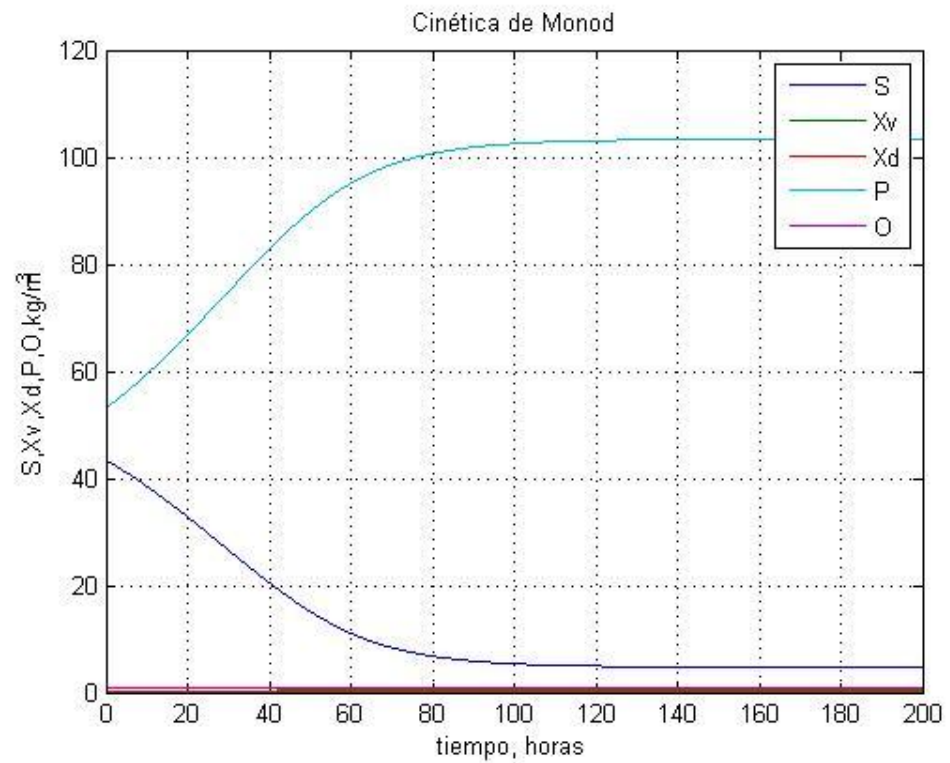


Figura VIII.3.3: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 2

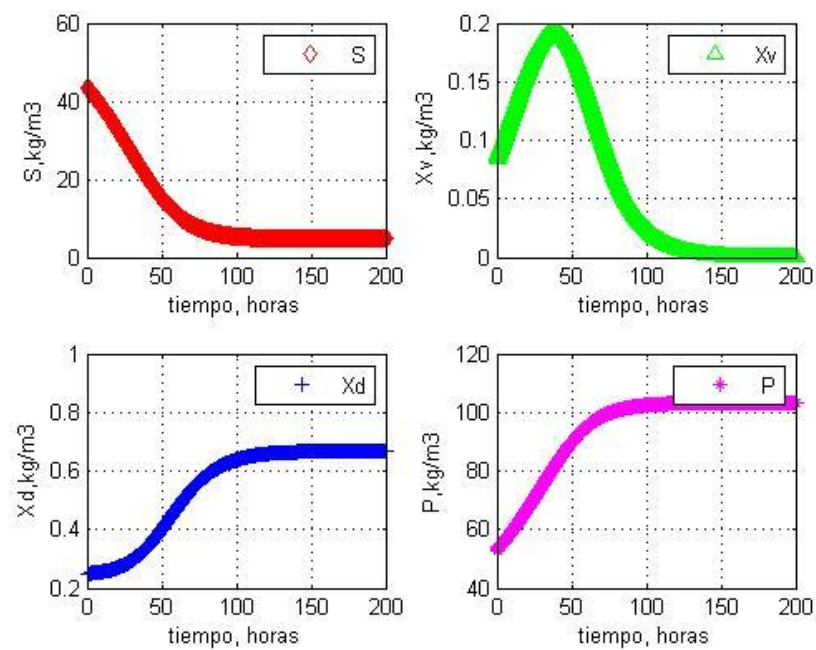


Figura VIII.3.4: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 2

Del mismo modo, se exportan los datos a Excel y se obtienen los valores finales de las variables a las 100 horas, que es el momento donde se obtiene la máxima producción de acético:

$$S_{fCICLO\ 2} = 4,3 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{fVCICLO\ 2} = 0,0001 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{fACICLO\ 2} = 0,671 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{fCICLO\ 2} = 103,36 \text{ kg/m}^3$$

➤ CICLO 3

Los valores iniciales para el tercer ciclo serán:

$$S_{0CICLO\ 3} = 0,5 \cdot S_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot S_{fCICLO\ 2} = 0,5 \cdot 83 + 0,5 \cdot 4,3 = 43,65 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{0VCICLO\ 3} = 0,5 \cdot X_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot X_{fCICLO\ 2} = 0,5 \cdot 0,0036 + 0,5 \cdot 0,0001 = 0,018 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{0ACICLO\ 3} = 0,5 \cdot X_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot X_{fCICLO\ 2} = 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0,671 = 0,3355 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{0CICLO\ 3} = 0,5 \cdot P_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot P_{fCICLO\ 2} = 0,5 \cdot 2 + 0,5 \cdot 103,36 = 52,68 \text{ kg/m}^3$$

○ Programar la resolución de la ODE:

- clear
- clc
- constantesmonod;
- % Tiempo inicial y final
- ts=0; %(h)
- tf=200; %(h)
- % Valores iniciales

```
▪ So=43,65; %(kg/m^3)
▪ Xov=0.0180; %(kg/m^3)
▪ Xod=0.3355; %(kg/m3)
▪ Po=52.68;%(kg/m^3)
▪ Oo=8.0; %(ppm)
▪ yo=[So Xov Xod Po Oo];
▪ % ODE
▪ tspan=[ts tf];
▪ options=odeset('RelTol',1e-6,'AbsTol',1e-6);
▪ [t,y]=ode45(@MMmonod,tspan,yo,options);
▪ Ssim=y(:,1);Xvsim=y(:,2);Xdsim=y(:,3); Psim=y(:,4);
  Osim=y(:,5);
▪ resultadosfinales=y(end,:)
▪ % Representación gráfica
▪ figure(1)
▪ plot(t,y)
▪ title('Cinética de Monod')
▪ xlabel('tiempo, horas'), ylabel('S,Xv,Xd,P,O,kg/m^3')
▪ legend('S','Xv','Xd','P','O')
▪ grid
▪ %Datos
▪ resultados=[t,Ssim,Xvsim,Xdsim,PSim,Osim];
▪ % Representación gráfica 2
▪ figure(2);
▪ subplot(2,2,1);
▪ plot(t,Ssim,'dr');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('S,kg/m3')
▪ legend('S')
▪ grid
▪ subplot(2,2,2);
▪ plot(t,Xvsim,'^g');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('Xv,kg/m3')
▪ legend('Xv')
▪ grid
▪ subplot(2,2,3);
▪ plot(t,Xdsim,'+b');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('Xd,kg/m3')
▪ legend('Xd')
▪ grid
▪ subplot(2,2,4);
▪ plot(t,PSim,'*m');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('P,kg/m3')
▪ legend('P')
▪ grid
▪ subplot(2,2,5);
▪ plot(t,Osim,'+c');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('O,kg/m3')
▪ legend('O')
▪ grid
```

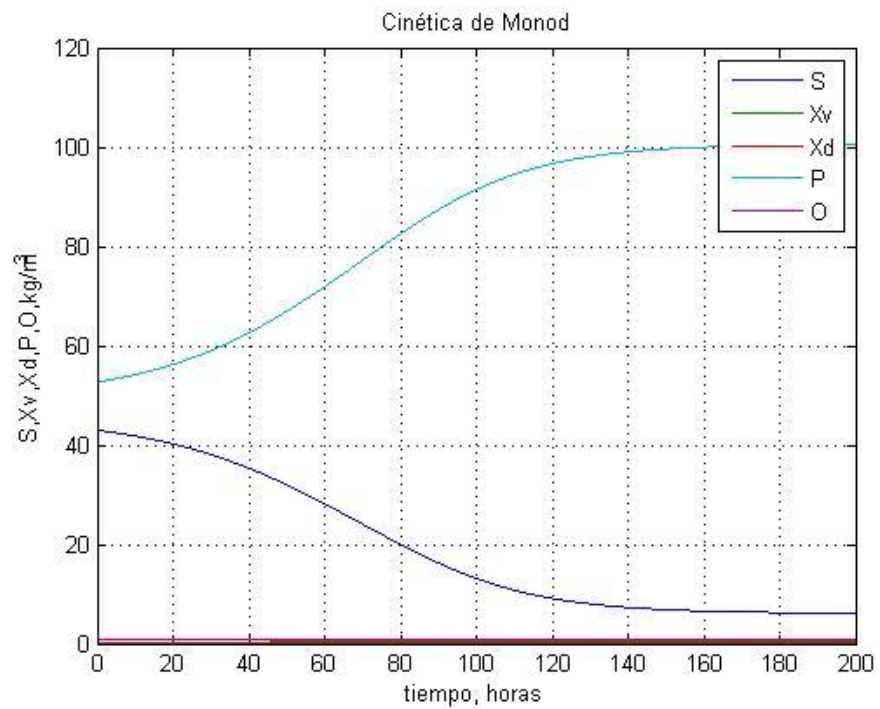


Figura VIII.3.5: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 3

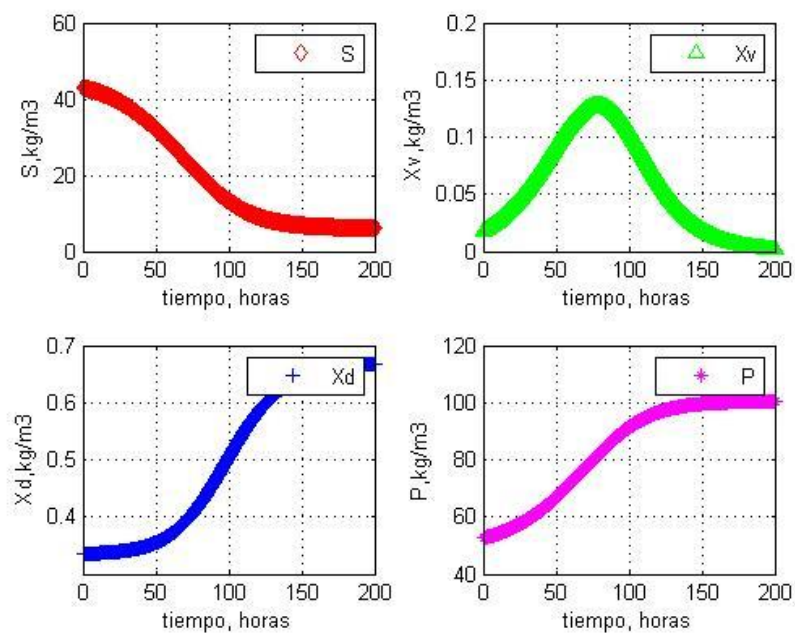


Figura VIII.3.6: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 3

En este ciclo, aumenta el tiempo de ciclo de 100 horas a 160 horas, pero observamos que nos aproximamos más a la concentración final deseada.

$$S_{fCICLO\ 3} = 5,38 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{fvCICLO\ 3} = 0,002 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{fdCICLO\ 3} = 0,668 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{fCICLO\ 3} = 100,5 \text{ kg/m}^3$$

➤ CICLO 4

Los valores iniciales para el cuarto ciclo serán:

$$S_{0CICLO\ 4} = 0,5 \cdot S_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot S_{fCICLO\ 3} = 0,5 \cdot 83 + 0,5 \cdot 5,38 = 44,19 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{0vCICLO\ 4} = 0,5 \cdot X_{0vCICLO\ 1} + 0,5 \cdot X_{fvCICLO\ 3} = 0,5 \cdot 0,0036 + 0,5 \cdot 0,002 = 0,0028 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{0dCICLO\ 4} = 0,5 \cdot X_{0dCICLO\ 1} + 0,5 \cdot X_{fdCICLO\ 3} = 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0,668 = 0,334 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{0CICLO\ 4} = 0,5 \cdot P_{0CICLO\ 1} + 0,5 \cdot P_{fCICLO\ 3} = 0,5 \cdot 2 + 0,5 \cdot 100,5 = 100,71 \text{ kg/m}^3$$

○ Programar la resolución de la ODE:

```

clear
clc
constantesmonod;
% Tiempo inicial y final
ts=0; % (h)
tf=200; % (h)
% Valores iniciales
So=44,19; % (kg/m^3)
Xov=0.028; % (kg/m^3)
Xod=0.334; % (kg/m^3)
Po=51,25; % (kg/m^3)
Oo=8.0; % (ppm)
yo=[So Xov Xod Po Oo];
% ODE
tspan=[ts tf];
options=odeset('RelTol',1e-6,'AbsTol',1e-6);
[t,y]=ode45(@MMmonod,tspan,yo,options);

```

```
▪ Ssim=y(:,1);Xvsim=y(:,2);Xdsim=y(:,3); Psim=y(:,4);
  Osim=y(:,5);
▪ resultadosfinales=y(end,:);
▪ % Representación gráfica
▪ figure(1)
▪ plot(t,y)
▪ title('Cinética de Monod')
▪ xlabel('tiempo, horas'), ylabel('S,Xv,Xd,P,O, kg/m^3')
▪ legend('S','Xv','Xd','P','O')
▪ grid
▪ %Datos
▪ resultados=[t,Ssim,Xvsim,Xdsim,Psim,Osim];
▪ % Representación gráfica 2
▪ figure(2);
▪ subplot(2,2,1);
▪ plot(t,Ssim,'dr');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('S,kg/m3')
▪ legend('S')
▪ grid
▪ subplot(2,2,2);
▪ plot(t,Xvsim,'^g');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('Xv,kg/m3')
▪ legend('Xv')
▪ grid
▪ subplot(2,2,3);
▪ plot(t,Xdsim,'+b');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('Xd,kg/m3')
▪ legend('Xd')
▪ grid
▪ subplot(2,2,4);
▪ plot(t,Psim,'*m');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('P,kg/m3')
▪ legend('P')
▪ grid
▪ subplot(2,2,5);
▪ plot(t,Osim,'+c');
▪ xlabel('tiempo, horas'),ylabel('O,kg/m3')
▪ legend('O')
▪ grid
```

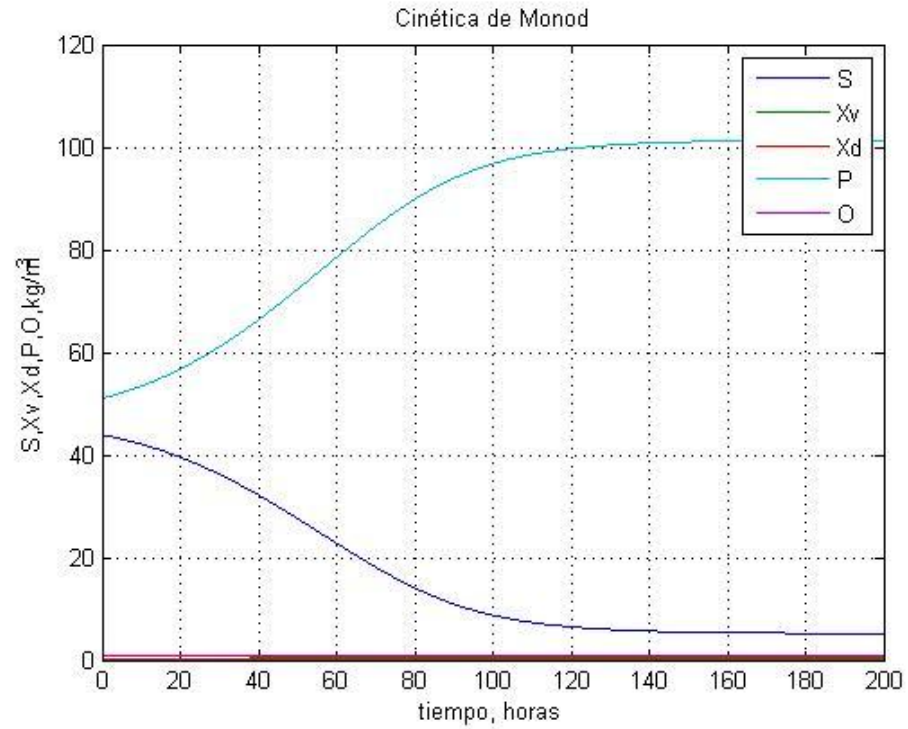


Figura VIII.3.7: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 3

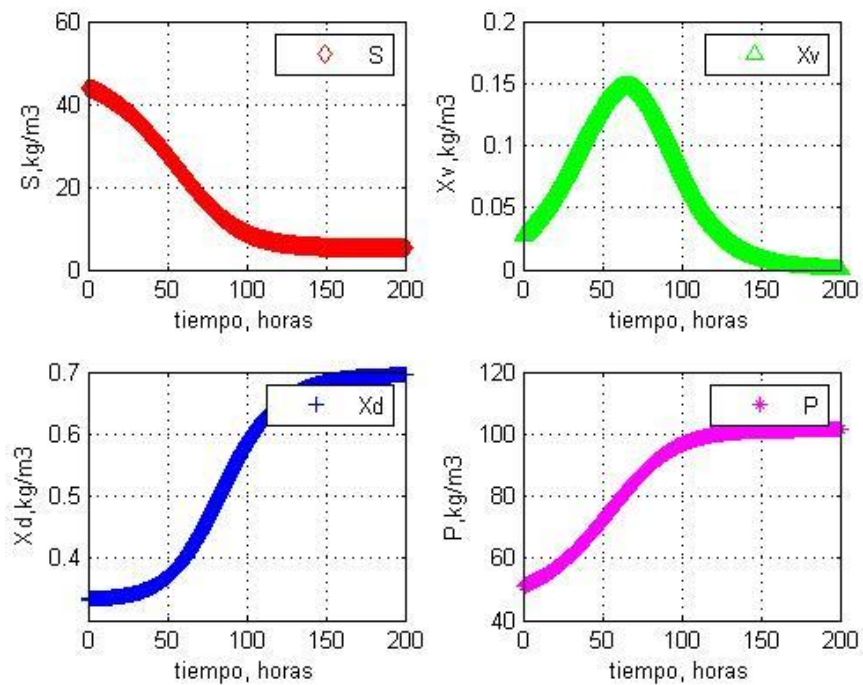


Figura VIII.3.8: Representación gráfica de todas las variables simultáneamente. Ciclo 3

$$S_{fCICLO\ 4} = 5,2\ kg/m^3$$

$$X_{fvCICLO\ 4} = 0,008\ kg/m^3$$

$$X_{fdCICLO\ 4} = 0,657\ kg/m^3$$

$$P_{fCICLO\ 4} = 100,71\ kg/m^3$$

Como puede observarse, los valores iniciales y finales de sustrato, biomasa y producto se han estabilizado, manteniendo en los dos últimos ciclos prácticamente los mismos valores y obteniendo una concentración de ácido acético de 100 g/L a las 160 horas.

Puede considerarse, finalmente, que en los sucesivos ciclos se obtendrá:

$$t_{CICLO} = 160\ h$$

$$[AcH] = 100\ kg/m^3 = 100\ g/L$$

ANEXO IX: TABLAS Y GRÁFICAS USADAS EN LOS CÁLCULOS

Nominal Tank Diameter		Nominal Plate Thickness	
(m)	(ft)	(mm)	(in.)
< 15	< 50	5	³ / ₁₆
15 to < 36	50 to < 120	6	¹ / ₄
36 to 60	120 to 200	8	⁵ / ₁₆
> 60	> 200	10	³ / ₈

Tabla II.3.1.a.: Espesores mínimos recomendados para los cascos en función del diámetro del tanque (Norma API 650).

Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness t mm	Minimum Yield Strength Mpa	Minimum Tensile Strength Mpa	Product Design Stress S_d Mpa	Hydrostatic Test Stress S_t Mpa
ASTM Specifications						
A 283M	C		205	380	137	154
A 285M	C		205	380	137	154
A 131M	A, B		235	400	157	171
A 36M	—		250	400	160	171
A 131M	EH 36		360	490 ^a	196	210
A 573M	400		220	400	147	165
A 573M	450		240	450	160	180
A 573M	485		290	485 ^a	193	208
A 516M	380		205	380	137	154
A 516M	415		220	415	147	165
A 516M	450		240	450	160	180
A 516M	485		260	485	173	195
A 662M	B		275	450	180	193
A 662M	C		295	485 ^a	194	208
A 537M	1	$t \leq 65$	345	485 ^a	194	208
		$65 < t \leq 100$	310	450 ^b	180	193
A 537M	2	$t \leq 65$	415	550 ^a	220	236
		$65 < t \leq 100$	380	515 ^b	206	221
A 633M	C, D	$t \leq 65$	345	485 ^a	194	208
		$65 < t \leq 100$	315	450 ^b	180	193
A 678M	A		345	485 ^a	194	208
A 678M	B		415	550 ^a	220	236
A 737M	B		345	485 ^a	194	208
A 841M	Class 1		345	485 ^a	194	208
A 841M	Class 2		415	550 ^a	220	236

Tabla II.3.1.1.a.: Tensión máxima admisible en condiciones de diseño y para prueba hidráulica (Norma API 650).

Type	Min. Yield MPa	Min. Tensile MPa	Allowable Stress (S_d) (in MPa) for Maximum Design Temperature Not Exceeding					
			40°C	90°C	150°C	200°C	260°C	S_t Ambient
201-1	260	515	155	136	125	121	--	234
201LN	310	655	197	172	153	145	143	279
304	205	515	155	155	140	128	121	186
304L	170	485	145	132	119	109	101	155
316	205	515	155	155	145	133	123	186
316L	170	485	145	131	117	107	99	155
317	205	515	155	155	145	133	123	186
317L	205	515	155	155	145	133	123	186

Tabla II.3.1.2.a.: Tensión máxima admisible en condiciones de diseño (Norma API 650).

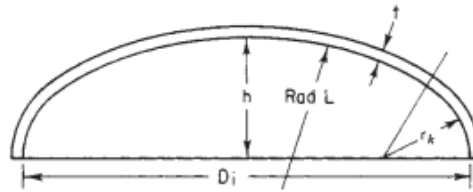
Type	Allowable Stress (S_d) (in MPa) for Maximum Design Temperature Not Exceeding				
	40°C	90°C	150°C	200°C	260°C
201-1	155	133	115	104	--
201LN	197	167	151	143	138
304	140	115	103	95	89
304L	117	99	88	81	75
316	140	119	107	99	92
316L	117	97	87	79	73
317	140	119	108	99	92
317L	140	119	108	99	92

Tabla II.3.1.2.b.: Tensión máxima admisible por prueba hidráulica (Norma API 650).

Plate Thickness ^a of First Shell Course (mm)	Stress ^b in First Shell Course (MPa)			
	≤ 190	≤ 210	≤ 220	≤ 250
$t \leq 19$	6	6	7	9
$19 < t \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t \leq 40$	8	11	14	17
$40 < t \leq 45$	9	13	16	19

Tabla II.3.2.a.: Espesores de los fondos (Norma API 650).

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.



Type of head	Knuckle radius, r_k	h	L	Volume	% Error	Remarks
Standard dished	Approx. $3t$		Approx. D_i	Approx. $0.050D_i^3 + 1.65tD_i^2$	± 10	h varies with t
Torispherical or A.S.M.E.	$0.06L$		D_i	$0.0809D_i^3$	± 0.1	r_k must be the larger of $0.06L$ and $3t$
Torispherical or A.S.M.E.	$3t$		D_i	Approx. $0.513hD_i^2$	± 8	
Ellipsoidal		$D_i/4$		$\pi D_i^3 h / 6$	0	Standard proportions
Ellipsoidal		$D_i/2$		$\pi D_i^3 / 24$	0	
Hemispherical			$D_i/2$	$\pi D_i^3 / 12$	0	Truncated cone h = height d = diameter at small end
Conical				$\pi h (D_i^2 + D_i d + d^2) / 12$	0	

*Use consistent units.

Tabla III.8.1.: Dimensiones características del cabezal torisférico (Código ASME Sección II División 1)

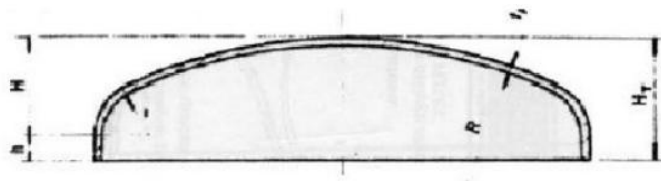


Figura III.8.1.: Fondo/Cabezal torisférico tipo Klöpper (CEPSA ESP 1101-1).

Velocidad básica del viento, mph	70	80	90	100	110	120	130
Presión q_s , lb/pie ²	13	17	21	26	31	37	44

Tabla III.11.1.: Velocidad básica del viento (Megyesy, 2001).

Torres cuadradas o rectangulares..... 1.4
 Torres hexagonales u octagonales..... 1.1
 Torres redondas o elípticas..... 0.8
 (Si hay cualquier equipo conectado a la torre, se recomienda incrementar C_q hasta 0.9 para recipientes cilíndricos.)

Tabla III.11.2.: Coeficiente de presión (Megyesy, 2001).

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Altura sobre el piso, pies	Coeficiente C_e	
	Exposición C	Exposición B
0- 20	1.2	0.7
20- 40	1.3	0.8
40- 60	1.5	1.0
60-100	1.6	1.1
100-150	1.8	1.3
150-200	1.9	1.4
200-300	2.1	1.6
300-400	2.2	1.8

La exposición C representa la más severa, en terreno plano y generalmente abierto, que se extiende media milla o más desde donde se localiza la torre. Las grandes plantas petroquímicas están en esta categoría. La exposición B es para un terreno en el cual hay construcciones, bosques o irregularidades en el suelo de 20 o más pies de altura que cubre 20 por ciento de área, extendiéndose una milla o más desde donde se ubica la torre.

Tabla III.11.3.: Coeficiente del factor por ráfagas (Megyesy, 2001).

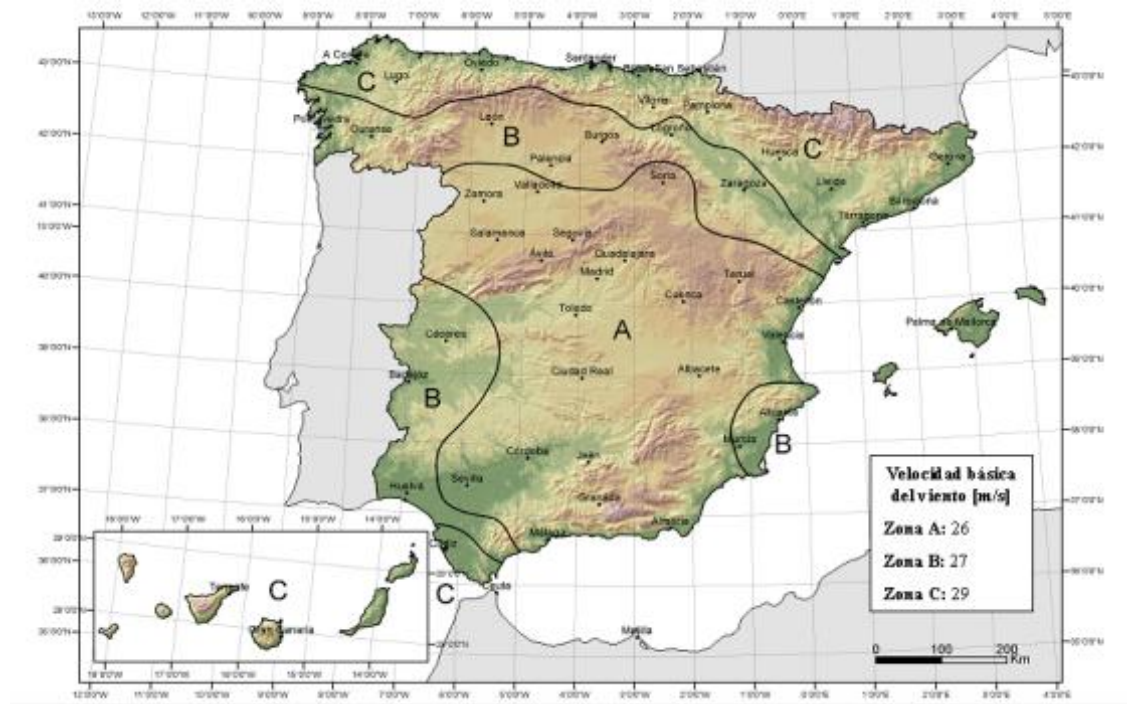


Figura III.11.1.: Mapa eólico nacional (Instituto Nacional de Meteorología).

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Tabla IV.1.1.a.: Velocidad media de fluidos a través de conducciones (McCabe, Smith, 2007).

Nominal pipe size, in	Outside diameter, in	Schedule no.	Wall thickness, in	Inside diameter, in	Cross-sectional area		Circumference, ft, or surface, ft ² /ft of length		Capacity at 1-ft/s velocity		Weight of plain-end pipe, lb/ft
					Metal, in ²	Flow, ft ²	Outside	Inside	U.S. gal/min	lb/h water	
¼	0.405	10S	.049	.307	.055	.00051	.0106	.0804	.231	115.5	.19
		40ST, 40S	.068	.269	.072	.00040	.106	.0705	.179	89.5	.24
		80XS, 80S	.095	.215	.093	.00025	.106	.0563	.113	56.5	.31
½	0.540	10S	.065	.410	.097	.00092	.141	.107	.412	206.5	.33
		40ST, 40S	.088	.364	.125	.00072	.141	.095	.323	161.5	.42
		80XS, 80S	.119	.302	.157	.00050	.141	.079	.224	112.0	.54
¾	0.675	10S	.065	.545	.125	.00162	.177	.143	.727	363.5	.42
		40ST, 40S	.091	.493	.167	.00133	.177	.129	.596	298.0	.57
		80XS, 80S	.126	.423	.217	.00098	.177	.111	.440	220.0	.74
1	0.840	5S	.065	.710	.158	.00275	.220	.186	1.234	617.0	.54
		10S	.083	.674	.197	.00248	.220	.176	1.112	556.0	.67
		40ST, 40S	.109	.622	.250	.00211	.220	.163	0.945	472.0	.85
		80XS, 80S	.147	.546	.320	.00163	.220	.143	0.730	365.0	1.09
		160	.188	.464	.385	.00117	.220	.122	0.527	263.5	1.31
		XX	.294	.252	.504	.00035	.220	.066	0.155	77.5	1.71
¾	1.050	5S	.065	.920	.201	.00461	.275	.241	2.072	1036.0	0.69
		10S	.083	.884	.252	.00426	.275	.231	1.903	951.5	0.86
		40ST, 40S	.113	.824	.333	.00371	.275	.216	1.665	832.5	1.13
		80XS, 80S	.154	.742	.433	.00300	.275	.194	1.345	672.5	1.47
		160	.219	.612	.572	.00204	.275	.160	0.917	458.5	1.94
		XX	.308	.434	.718	.00103	.275	.114	0.461	230.5	2.44
1	1.315	5S	.065	1.185	.255	.00768	.344	.310	3.449	1725	0.87
		10S	.109	1.097	.413	.00656	.344	.287	2.946	1473	1.40
		40ST, 40S	.133	1.049	.494	.00600	.344	.275	2.690	1345	1.68
		80XS, 80S	.179	0.957	.639	.00499	.344	.250	2.240	1120	2.17
		160	.250	0.815	.836	.00362	.344	.213	1.625	812.5	2.84
		XX	.358	0.599	1.076	.00196	.344	.157	0.878	439.0	3.66
1¼	1.660	5S	.065	1.530	0.326	.01277	.435	.401	5.73	2865	1.11
		10S	.109	1.442	0.531	.01134	.435	.378	5.09	2545	1.81
		40ST, 40S	.140	1.380	0.668	.01040	.435	.361	4.57	2285	2.27
		80XS, 80S	.191	1.278	0.881	.00891	.435	.335	3.99	1995	3.00
		160	.250	1.160	1.107	.00734	.435	.304	3.29	1645	3.76
		XX	.382	0.896	1.534	.00438	.435	.235	1.97	985	5.21
1½	1.900	5S	.065	1.770	0.375	.01709	.497	.463	7.67	3835	1.28
		10S	.109	1.682	0.614	.01543	.497	.440	6.94	3465	2.09
		40ST, 40S	.145	1.610	0.800	.01414	.497	.421	6.34	3170	2.72
		80XS, 80S	.200	1.500	1.069	.01225	.497	.393	5.49	2745	3.63
		160	.281	1.338	1.429	.00976	.497	.350	4.38	2190	4.86
		XX	.400	1.100	1.885	.00660	.497	.288	2.96	1480	6.41

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

1¼	1.660	5S	.065	1.530	0.326	.01277	.435	.401	5.73	2865	1.11
		10S	.109	1.442	0.531	.01134	.435	.378	5.09	2545	1.81
		40ST, 40S	.140	1.380	0.668	.01040	.435	.361	4.57	2285	2.27
		80XS, 80S	.191	1.278	0.881	.00891	.435	.335	3.99	1995	3.00
		160	.250	1.160	1.107	.00734	.435	.304	3.29	1645	3.76
		XX	.382	0.896	1.534	.00438	.435	.235	1.97	985	5.21
1½	1.900	5S	.065	1.770	0.375	.01709	.497	.463	7.67	3835	1.28
		10S	.109	1.682	0.614	.01543	.497	.440	6.94	3465	2.09
		40ST, 40S	.145	1.610	0.800	.01414	.497	.421	6.34	3170	2.72
		80XS, 80S	.200	1.500	1.069	.01225	.497	.393	5.49	2745	3.63
		160	.281	1.338	1.429	.00976	.497	.350	4.38	2190	4.86
		XX	.400	1.100	1.885	.00660	.497	.288	2.96	1480	6.41
2	2.375	5S	.065	2.245	0.472	.02749	.622	.588	12.34	6170	1.61
		10S	.109	2.157	0.776	.02538	.622	.565	11.39	5695	2.64
		40ST, 40S	.154	2.067	1.075	.02330	.622	.541	10.45	5225	3.65
		80ST, 80S	.218	1.939	1.477	.02050	.622	.508	9.20	4600	5.02
		160	.344	1.687	2.195	.01552	.622	.436	6.97	3485	7.46
		XX	.436	1.503	2.656	.01232	.622	.393	5.53	2765	9.03
2½	2.875	5S	.083	2.709	0.728	.04003	.753	.709	17.97	8985	2.48
		10S	.120	2.635	1.039	.03787	.753	.690	17.00	8500	3.53
		40ST, 40S	.203	2.469	1.704	.03322	.753	.647	14.92	7460	5.79
		80XS, 80S	.276	2.323	2.254	.02942	.753	.608	13.20	6600	7.66
		160	.375	2.125	2.945	.02463	.753	.556	11.07	5535	10.01
		XX	.552	1.771	4.028	.01711	.753	.464	7.68	3840	13.69
3	3.500	5S	.083	3.334	0.891	.06063	.916	.873	27.21	13,605	3.03
		10S	.120	3.260	1.274	.05796	.916	.853	26.02	13,010	4.33
		40ST, 40S	.216	3.068	2.228	.05130	.916	.803	23.00	11,500	7.58
		80XS, 80S	.300	2.900	3.016	.04587	.916	.759	20.55	10,275	10.25
		160	.438	2.624	4.213	.03755	.916	.687	16.86	8430	14.32
		XX	.600	2.300	5.466	.02885	.916	.602	12.95	6475	18.58
3½	4.0	5S	.083	3.834	1.021	.08017	1.047	1.004	35.98	17,990	3.48
		10S	.120	3.760	1.463	.07711	1.047	0.984	34.61	17,305	4.97
		40ST, 40S	.226	3.548	2.680	.06870	1.047	0.929	30.80	15,400	9.11
		80XS, 80S	.318	3.364	3.678	.06170	1.047	0.881	27.70	13,850	12.50
4	4.5	5S	.083	4.334	1.152	.10245	1.178	1.135	46.0	23,000	3.92
		10S	.120	4.260	1.651	.09898	1.178	1.115	44.4	22,200	5.61
		40ST, 40S	.237	4.026	3.17	.08840	1.178	1.054	39.6	19,800	10.79
		80XS, 80S	.337	3.826	4.41	.07986	1.178	1.002	35.8	17,900	14.98

Nominal pipe size, in	Outside diameter, in	Schedule no.	Wall thickness, in	Inside diameter, in	Cross-sectional area		Circumference, ft, or surface, ft²/ft of length		Capacity at 1-ft/s velocity		Weight of plain-end pipe, lb/ft
					Metal, in²	Flow, ft²	Outside	Inside	U.S. gal/min	lb/h water	
5	5.563	120	0.438	3.624	5.58	0.07170	1.178	0.949	32.2	16,100	19.00
		160	.531	3.438	6.62	.06647	1.178	0.900	28.9	14,450	22.51
		XX	.674	3.152	8.10	.05419	1.178	0.825	24.3	12,150	27.54
		5S	.109	5.345	1.87	.1558	1.456	1.399	69.9	34,950	6.36
		10S	.134	5.295	2.29	.1529	1.456	1.386	68.6	34,300	7.77
		40ST, 40S	.258	5.047	4.30	.1390	1.456	1.321	62.3	31,150	14.62
		80XS, 80S	.375	4.813	6.11	.1263	1.456	1.260	57.7	28,850	20.78
		120	.500	4.563	7.95	.1136	1.456	1.195	51.0	25,500	27.04
		160	.625	4.313	9.70	.1015	1.456	1.129	45.5	22,750	32.96
		XX	.750	4.063	11.34	.0900	1.456	1.064	40.4	20,200	38.55
6	6.625	5S	.109	6.407	2.23	.2239	1.734	1.677	100.5	50,250	7.60
		10S	.134	6.357	2.73	.2204	1.734	1.664	98.9	49,450	9.29
		40ST, 40S	.280	6.065	5.58	.2006	1.734	1.588	90.0	45,000	18.97
		80XS, 80S	.432	5.761	8.40	.1810	1.734	1.508	81.1	40,550	28.57
		120	.562	5.501	10.70	.1650	1.734	1.440	73.9	36,950	36.39
		160	.719	5.187	13.34	.1467	1.734	1.358	65.9	32,950	45.34
		XX	.864	4.897	15.64	.1308	1.734	1.282	58.7	29,350	53.16

Tabla IV.1.2.a.: Dimensiones nominales de tuberías de acero al carbono y acero inoxidable (ASME B31.3.)

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Materiales	Temperatura, °C (°F)					
	≤ 482 (900 y menores)	510 (950)	538 (1.000)	566 (1.050)	593 (1.100)	≤ 621 (1.150 y mayores)
Aceros Ferríticos	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7
Aceros Austeníticos	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7
Otros metales ductiles	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Hierro Fundido	0,0

Tabla IV.1.3.5.a.: Valores del Factor Y (ASME B31.3.).

Pérdidas en codos y accesorios (longitud equivalente de tubería recta, en pies)														
Diámetro interior (in)	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
Codo de 90°	2-2,5	4-5	6-7	9-10	10-11	12-14	18	27	26	31	35	40	45	52
Codo largo de 90°	1,5-2	2,5-4	5	6-7	7-8	9-11	12-14	16-17	20	23	27	30	34	40
Codo de 45°	1,5	2,5	3,5	4,5	6	7,5	10	12,5	15	17	19	21	23	28
Codo largo de 45°	1	1,5	2	2,7	3,5	4	5	6	7	9	10	12	14	16
Curva de 180°						36	46	60	75					
Curva de 180°, gran radio						20	25	30	40					
Curvas de 90° Soldadas														
0,5		7	10	12	15	19	25	32	38	44	50	56		
1		3	5	6	7	8	11	14	17	20	23	26		
1,5		2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18		
2		1	2	3	3,5	4	6	8	10	12	14	16		
3		1	1,5	2,5	3	4	6	7	9	11	13	15		
Tes	5,5	10	15	20	25	32	41	55	65	75	85	100	115	130
V. de compuerta abierta	0,6	1,25	1,7	2,3	2,9	3,5	4,5	6	7	8	9	10	12	14
cerrada 1/4		7	10	13	16	19	26	33	40					
cerrada 1/2		33	50	70	85	100	130	160	190					
cerrada 3/4		140	200	280	340	400	540	700	800					
Válvula esférica	27	56	80	107	133	160	215	270	320	375	430	480	540	600
Válvula de retención	7	13	20	27	33	40	53	67	80	93	107	120	135	160
Válvula de pie	2	4	6	8	10	12	16	20	24	28	32	36	40	48
Colador	4	5	6	8	10	11	13	16	18	21	24	30	35	40
Entrada típica	1,5	3	4,5	6	7,5	9	12	15	18	21	24	27	30	35

Tabla IV.1.4.6.a.: Longitudes equivalentes de accesorios (Martín Minchero, Muñoz Cueto, 2006).

Codos	K	L_{eq}/D
Codo de radio corto	0,9	32
Codo de radio medio	0,75	27
Codo de radio largo	0,60	20
Codo de 45°	0,42	15
Otros accesorios	K	L_{eq}/D
Válvula de globo, completamente abierta	10	350
Válvula de ángulo, completamente abierta	5	175
Válvula de compuerta		
- Completamente abierta	0,19	7
- entreabierta	2,06	72
Empalme en T normal	1,8	67

Tabla IV.1.4.6.b.: Longitudes equivalentes de accesorios (Martín Minchero, Muñoz Cueto, 2006).

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

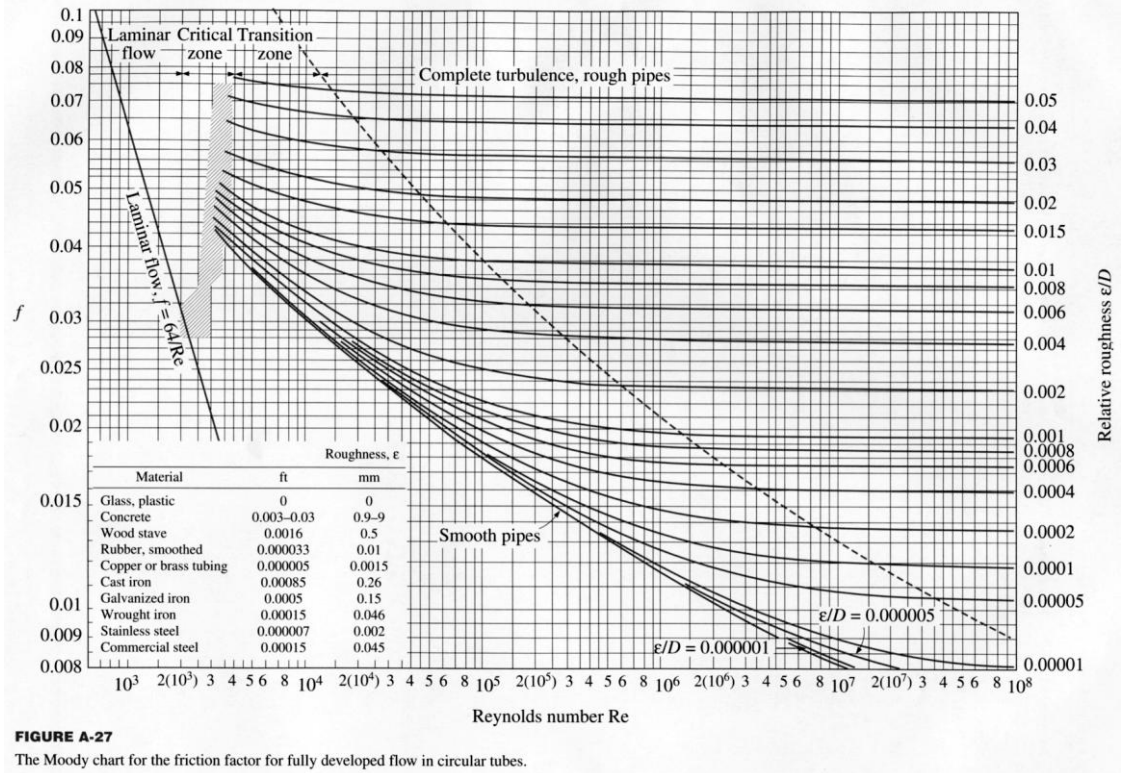


Figura IV.1.5.a.: Gráfica de Moody.


ρ (kg/m ³)	997,07
μ (kg/m·s)	0,000894
C_p (kcal/kg·°C)	1
k (kcal/h·m·°C)	0,522
k (kcal/s·m·°C)	0,000145

Tabla VI.3.3.1.a.: Propiedades del agua a 25°C (McCabe, Smith).

	Ra	C	n
Placas y cilindros verticales	< 10 ⁴	1,36	0,2
	10 ⁴ - 10 ⁹	0,55	0,25
	> 10 ⁹	0,1	0,33

Tabla VI.3.4.1.a.: Valores de C y n según el valor del número de Rayleigh (Levenspiel, 1993).

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ETANOL (ANHIDRO)			ICSC: 0044
			Octubre 2000
Alcohol etílico			
CAS:	64-17-5	CH ₃ CH ₂ OH / C ₂ H ₆ O	
RTECS:	KQ6300000	Masa molecular: 46.1	
NU:	1170		
CE Índice Anexo I:	603-002-00-5		
CE / EINECS:	200-578-6		

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes fuertes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono,
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

EXPOSICIÓN			
Inhalación	Tos. Dolor de cabeza. Fatiga. Somnolencia.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
Piel	Piel seca.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemazón.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Confusión. Vértigo. Pérdida del conocimiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Eliminar el residuo con agua abundante.	Clasificación UE Símbolo: F R: 11 S: (2-)7-16 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1170. Código NFPA: H 0; F 3; R 0;	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.

IPCS

International
Programme on
Chemical Safety



Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2005









VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ETANOL (ANHIDRO)		ICSC: 0044
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Líquido incoloro, de olor característico.		VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.
PELIGROS FÍSICOS: El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.		RIESGO DE INHALACIÓN: Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.
PELIGROS QUÍMICOS: Reacciona lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoníaco originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes tales como ácido nítrico, nitrato de plata, nitrato de mercurio o perclorato magnésico, originando peligro de incendio y explosión.		EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: La sustancia irrita los ojos. La inhalación de altas concentraciones del vapor puede originar irritación de los ojos y del tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.
LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 1000 ppm (como TWA), A4 (no clasificable como cancerígeno humano) (ACGIH 2004). MAK: 500 ppm; 960 mg/m ³ ; Categoría de limitación de pico: II(2), Cancerígeno: categoría 5, Mutágeno: categoría 5, Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).		EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA: El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio superior y al sistema nervioso central, dando lugar a irritación, dolor de cabeza, fatiga y falta de concentración. Ver Notas.
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de ebullición: 79°C Punto de fusión: -117°C Densidad relativa (agua = 1): 0,8 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 5,8 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,6		Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1,03 Punto de inflamación: 13 °C c.c. Temperatura de autoignición: 363 °C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.3-19 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.32
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
El consumo de etanol durante el embarazo puede afectar al feto. La ingesta crónica de etanol puede causar cirrosis hepática. El punto de inflamación de la disolución acuosa al 50% es 24 °C. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005: ver Límites de exposición.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2013): VLA-EC: 1000 ppm; 1910 mg/m ³ Notas: Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o biocida.		
Nota legal Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.		
© IPCS, CE 2005		

Tabla IX.a.: Ficha de seguridad del etanol (INSHT)

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ÁCIDO ACÉTICO			ICSC: 0363 Mayo 2010	
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	64-19-7 AF1225000 2789 607-002-00-6 200-580-7	Ácido acético glacial Ácido etanoico Ácido etílico Ácido metanocarboxílico C ₂ H ₄ O ₂ / CH ₃ COOH Masa molecular: 60.1		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS	
INCENDIO	Inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua pulverizada o dióxido de carbono.	
EXPLOSIÓN	Por encima de 39°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire. Riesgo de incendio y explosión en contacto con oxidantes fuertes.	Por encima de 39°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.	
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!	
Inhalación	Dolor de garganta. Tos. Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Vértigo. Jadeo. Dificultad respiratoria.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Proporcionar asistencia médica.	
Piel	Dolor. Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.	
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras graves. Pérdida de visión.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.	
Ingestión	Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Dolor abdominal. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.	
DERRAMES Y FUGAS			ENVASADO Y ETIQUETADO	
Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Neutralizar con precaución el líquido derramado con carbonato sódico, solo bajo la responsabilidad de un experto. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.			No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 10-35 S: (1/2)-23-26-45 Nota: B Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Riesgos Subsidiarios de las NU: 3 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Líquidos y vapores inflamables. Nocivo si se inhala el vapor. Nocivo en contacto con la piel. Puede ser nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria. Provoca daños en el sistema respiratorio tras exposiciones prolongadas o repetidas si se inhala. Nocivo para los organismos acuáticos.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA			ALMACENAMIENTO	
Código NFPA: H3; F2; R0			A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, ácidos fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos. Mantener en lugar bien ventilado. Bien cerrado. Almacenar en el recipiente original. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010				
<div><div><div>IPCS International Programme on Chemical Safety</div></div><div><div>WHO</div></div><div><div>ILO</div></div><div><div>UNEP</div></div><div></div><div><div>MINISTERIO DE TRABAJO E INMIGRACIÓN</div></div><div><div>INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO</div></div></div>				

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ÁCIDO ACÉTICO		ICSC: 0363
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro de olor acre.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia es un ácido débil. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con bases fuertes, ácidos fuertes y muchos otros compuestos. Ataca a algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 10 ppm como TWA; 15 ppm como STEL (ACGIH 2010). LEP UE: 10 ppm; 25 mg/m³ como TWA (EU 1991).</p>		<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN Efectos locales graves</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación puede causar edema pulmonar, pero sólo tras producirse los efectos corrosivos iniciales en los ojos o las vías respiratorias.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Los pulmones pueden resultar afectados tras exposiciones prolongadas o repetidas a un aerosol de esta sustancia. Riesgo de erosión de los dientes tras exposiciones prolongadas o repetidas al aerosol de esta sustancia.</p>
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 118°C Punto de fusión: 16.7°C Densidad relativa (agua = 1): 1.05 Solubilidad en agua: miscible. Presión de vapor, kPa a 20°C: 1.5 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.1</p>		<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.02 Punto de inflamación: 39°C c.c. Temperatura de autoignición: 485°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6.0-17 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.17</p>
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
El n° NU 2789 corresponde al ácido acético, ácido acético glacial o un disolución de ácido acético con más del 80 % de ácido en peso. Otro n° NU: NU 2790 disolución de ácido acético (entre el 10 y el 80% de ácido acético en peso); clasificación de peligro NU 8, grupo de envasado II-III.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011):</p> <p>VLA-ED: 10 ppm; 25 mg/m³</p> <p>VLA-EC: 15 ppm, 37 mg/m³</p>		
NOTA LEGAL		Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.
© IPCS, CE 2010		

Tabla IX.b.: Ficha de seguridad del ácido acético (INSHT)

Zymasil®

Levadura enológica de *Saccharomyces cerevisiae* s.f. *cerevisiae*

Empresa productora	Pascal Biotech – Paris (Francia) Distribuido por: AEB IBERICA, S.A. – Av. Can Campanyà, 13 – 08755-Castellbisbal (Barcelona) tel. +93 772 02 51 - fax 93 772 08 66 e-mail: aebiberica@aebiberica.es www.aeb-group.com
Empleo Dosis de empleo	Levadura seca activa para vinificaciones de base o para refermentaciones 20 g/hL de mosto o por quintal de estrujado a fermentar 20-40 g/hL de mosto o por quintal de estrujado en las paradas de fermentación y en refermentaciones
Confección	Paquetes al vacío de 500 g. Cod. prod. 001211

FICHA TECNICA Y DE SEGURIDAD

- 2 COMPOSICION E INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES**
Levadura seca activa, producto biológico natural.
Proteínas – Lípidos – Carbohidratos.
- 3 IDENTIFICACION DEL PELIGRO**
Ningún peligro.
- 4 MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS**
No precisa de ninguna precaución en especial.
- 5 MEDIDAS ANTINCENDIO**
Medios de extinción adecuados: todos.
Medios de extinción prohibidos: ninguno.
Peligros especiales: ninguno.
- 6 MEDIDAS EN CASO DE PERDIDA ACCIDENTAL**
Recoger eventuales pérdidas mediante medios mecánicos.
Eliminar según las normativas vigentes nacionales y locales.
Protección para el medioambiente: no tirar el producto directamente en el alcantarillado para evitar contaminación ambiental.
- 7 MANIPULACION Y ALMACENAJE**
Manipulación: ningún tipo de precaución especial.
Almacenaje: para una conservación óptima del producto, se aconseja conservarlo en un lugar fresco a temperatura inferior a 20°C.

8	VALOR LIMITE DE EXPOSICION Y PROTECCION INDIVIDUAL Protección individual: ninguna
9	PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS Aspecto granulos de color beige claro Olor a levadura Humedad < 5% Solubilidad soluble en agua a cualquier proporción pH 5-6 Celulas vivas superiores a 1.10^{10} UFC/g de producto seco
10	ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD Estable en condiciones normales de empleo. Evitar la exposición al calor. Productos de descomposición peligrosos: ninguno
11	INFORMACION TOXICOLOGICA ningún efecto tóxico.
12	INFORMACION ECOLOGICA Gracias a su total biodegradabilidad, el producto no esta considerado peligroso para el ambiente.
13	CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION Trabajar según las directivas vigentes nacionales y locales. Y las directivas 91/156/CEE - 91/689/CEE - 98/62/CE.
14	INFORMACION SOBRE EL TRANSPORTE Normas A.D.R.: el producto no esta considerado peligroso. INFORMACION SOBRE LA REGLAMENTACION En aplicación a la directiva 88/379 CEE y posteriores modificaciones y actualizaciones, (relativas a la clasificación, embalaje y al etiquetado de productos peligrosos), el preparado no es peligroso .
16	INFORMACION ADJUNTA Es responsabilidad de la persona responsable el informar periódicamente a los trabajadores sobre los riesgos específicos en el empleo del producto. La presente ficha ha sido redactada en el departamento técnico de Pascal Biotech en base a las informaciones disponibles a la fecha de la última revisión. La información que se detalla se refiere solo y exclusivamente a la preparación indicada y puede no ser válida si el producto se utiliza de forma incorrecta o en combinación con otros. Nada del contenido debe ser interpretado como garantía, bien sea implícita que explícita. En cada caso es responsabilidad de la persona responsable el como esta información debe ser aplicada y la adaptabilidad de cada producto a su particular finalidad. N.R.G.S.: 40-04990/CAT - 40-06007/B Para más información se ruega llamar o escribir a: AEB IBERICA, S.A. – Av. Can Campanyà, 13 – 08755 Castellbisbal (Barcelona) Tel. 93 772 02 51 - Fax 93 772 08 66 - Servicio Atención al Cliente: 900 150 798 e-mail: aebiberica@aebiberica.es - www.aeb-group.com

ZYMASIL (fecha última revisión: 23 de Enero 2003)



AEB IBERICA, S.A.
Av. Can Campanyà, 13 - 08755-Castellbisbal (Barcelona) - Tel. 93 772 02 51 - Fax 93 772 08 66
E-mail: aebiberica@aebiberica.es - www.aeb-group.com

Tabla IX.c.: Ficha técnica y de seguridad de *Saccharomyces cerevisiae*.

ANEXO X: CATÁLOGOS

QUILINOX



Bombas Centrífugas Sanitarias Certificadas

Serie CSA

Bombas centrífugas, serie CSA están proyectadas, probadas y certificadas según las especificaciones EHEDG (EUROPEAN HYGIENIC Engineering&Design GROUP) y las normas sanitarias 3A para ser empleadas esencialmente en la industria alimentaria y farmacéutica, o en aquellas aplicaciones que requieran normas sanitarias.

Han sido realizadas con componentes modulares y con equipos idóneos.

Turbina abierta con rendimiento óptimo y bajos valores de NPSH.

Diseño estándar

Partes en contacto con el fluido realizadas en acero inoxidable CF-3M 1.4404/AISI 316L.

Fundiciones realizadas a la cera perdida.

Acabados especiales con rugosidades hasta 0,8 μm .

Tratamiento de pulido electroquímico.

Pies de sujeción de acero inoxidable y altura regulable.

Caudales hasta 300 m^3/h con presiones hasta 100 m.c.l.; óptimos rendimientos y bajos valores de NPSH.



Bombas Autoaspirantes Sanitarias Certificadas

Serie ASH

Bombas centrífugas autoaspirantes serie ASH, aprobadas según la norma sanitaria 3A.

Realizadas para múltiples exigencias de empleo, representan un producto puntero, gracias a las características de proyecto, a los materiales y a las tecnologías utilizadas.

Concebidas para funcionar con líquidos que contengan gas o que formen espuma, o con el tubo de aspiración lleno sólo parcialmente.

Diseño estándar

Realizadas completamente en acero inoxidable CF-3M 1.4404/AISI 316L.

Fundiciones realizadas a la cera perdida.

Acabados especiales con rugosidades hasta 0,8 μm .

Tratamiento de pulido electroquímico.

Pies de sujeción de acero inoxidable y altura regulable.

Caudales hasta 40 m^3/h con presiones hasta 35 m.c.l. (a 50 Hz).



Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Serie CSA

Bombas centrífugas sanitarias de turbina abierta en versión monobloc con soporte independiente.

Equipos idóneos para motores según las normas siguientes:

IEC 34-I
VDE 0530TI
NF C51-111
BS5000 PART 99
NEMA NG1 PART. I

Cojinetes lubricados con grasa.

Cierre del cuerpo mediante abrazadera. Fácilmente desmontables para inspección, limpieza y mantenimiento; incluso la boca de impulsión puede girarse en cualquier dirección.

SERIE CSA CERTIFICADAS EHEDG/3A

Ejecución cierre mecánico:

Cierre mecánico simple externo
Cierre mecánico doble (axial+radial) refrigerado

SERIE CSA CERTIFICADAS 3A

Ejecución cierre mecánico:

Cierre mecánico interno en ejecución protegida, equilibrada y bidireccional; unificado según EN 12756, ISO 3069.

Materiales de las juntas (certificadas FDA - 3A - USPVI):

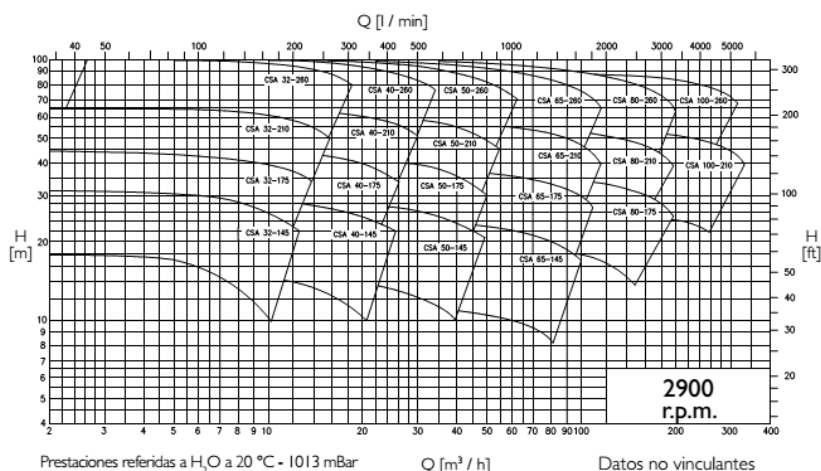
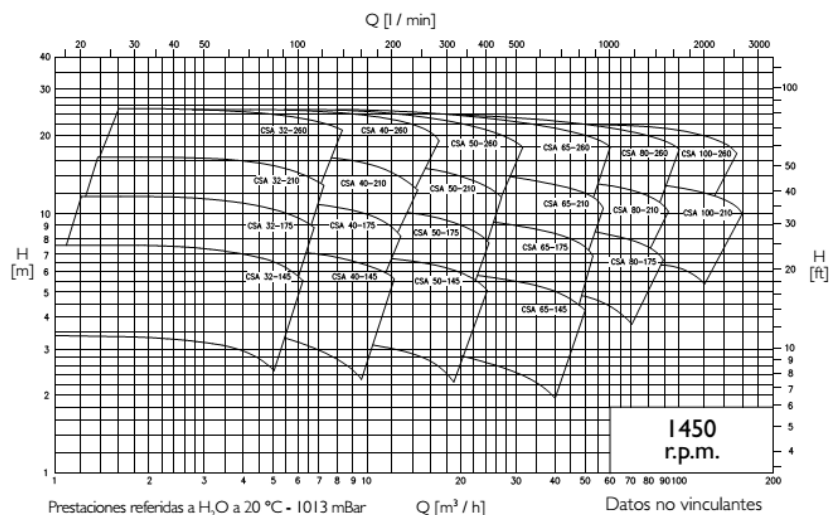
EPDM
FLUORADO - (FPM DIN/ISO), (FKM ASTM)
P.T.F.E. (Fep)

Conexiones para las bocas de unión:

CLAMP
DIN 11864
Otras ejecuciones bajo pedido



DIAGRAMAS GENERALES



Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Serie ASH

Bombas centrífugas autoaspirantes sanitarias en versión monobloc, con soporte independiente.

Equipos idóneos para motores según las normas siguientes:

IEC 34-I
VDE 0530T1
NF C51-111
BS5000 PART 99
NEMA NG1 PART. I

Cojinetes lubricados con grasa.

Cierre del cuerpo mediante abrazadera. Fácilmente desmontables para inspección, limpieza y mantenimiento.

Ejecuciones cierre mecánico:

Cierre mecánico interno unificado EN 12756, ISO 3069, en ejecución protegida, equilibrada y bidireccional.

Materiales de las juntas (certificadas FDA - 3A - USPVI):

EPDM
FLUORADO - (FPM *DIN/ISO*), (FKM *ASTM*)
P.T.F.E. (Fep)

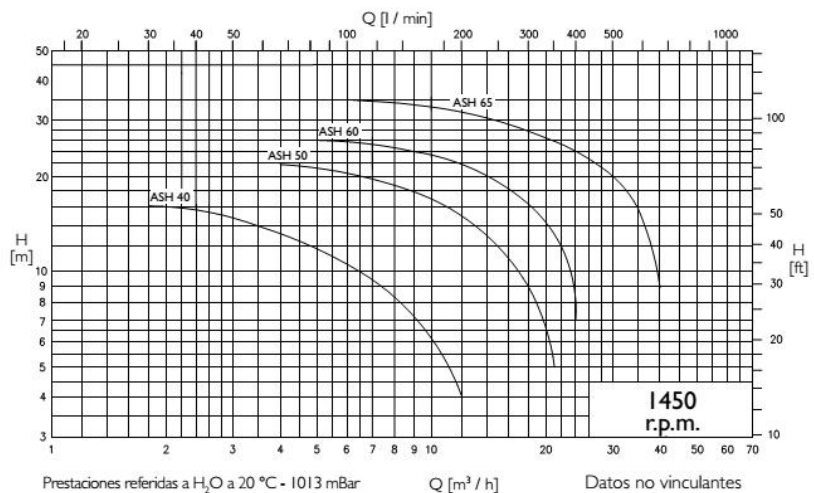
Conexiones para las bocas de unión:

CLAMP
DIN 11864
Otras ejecuciones bajo pedido

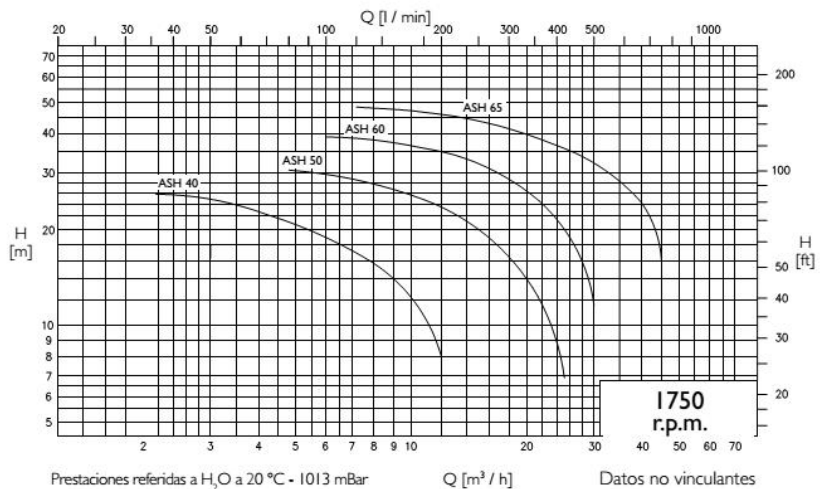


DIAGRAMAS GENERALES

A 50 Hz

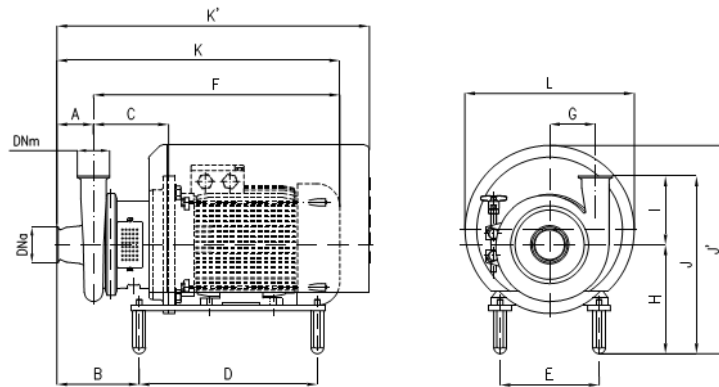


A 60 Hz



Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

DIMENSIONES CSA

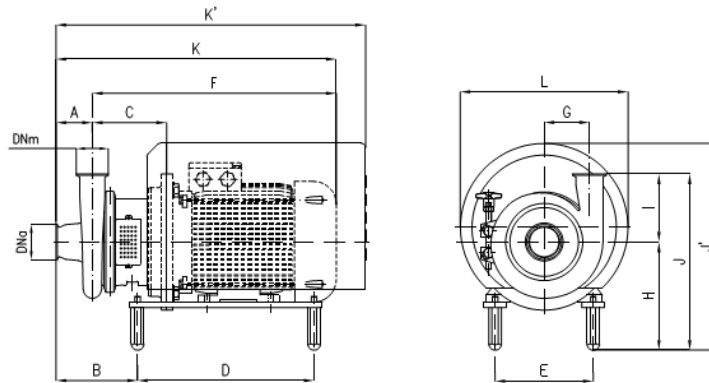


Cotas aproximadas - DN = Boca tipo "Clamp" ISO 2852 - Ejec. con motores estándar IEC-EN

Bomba tipo	Motores IEC tamaño	DNa	DNm	A	B	C	D	E	F	G	H	K	K'	I	J	J'	L
CSA 32-145	80	1"1/2	1"1/2	80	166	138	254	125	372	85	220	452	566	148	368	384	298
	90				172			140	419		230	499			378	394	
	100				158	139	314	160	451		240	531			388	445	
	112				165			190	473		230	553			378	435	
CSA 32-175	80	1"1/2	1"1/2	80	167	139	254	125	373	95	220	453	567	148	368	384	298
	90				173			140	420		230	500			378	394	
	100				159	140	314	160	452		240	532			388	445	
	112				166			190	473		230	553			378	435	
CSA 32-210	80	1"1/2	1"1/2	80	167	139	254	125	373	110	230	453	567	168	398	402	298
	90				173			140	420			500					
	100				159	140	314	160	452		240	532			408	445	
	112				166			190	473		230	553			398	435	
	132 M-S								534			680					
	132 MB				177	161	389	216	578		255	658			423	477	
CSA 32-260	160	2"	1"1/2	90	241	206	460	254	684	140	280	764	935	168	448	543	430
	90				207	163	254	140	444			534				424	
	100				193	164	314	160	476			566				465	
	112				200			190	497		260	587			428		
	132 M-S				211	185	389	216	558			648				482	
	132 MB								602			714					
CSA 40-145	80	2"	2"	80	167	139	254	125	373	90	220	453	567	133	353	384	298
	90				173			140	420		230	501			363	394	
	100				159	140	314	160	452		240	532			373	445	
	112				166			190	473		230	553			363	435	
CSA 40-175	80	2"	2"	80	168	141	254	125	375	95	220	455	569	150	370	384	298
	90				175			140	422		230	502			380	394	
	100				161	142	314	160	454		240	534			390	445	
	112				168			190	475		230	555			380	435	
	132 M-S				180	164	389	216	537			617			405	477	
	132 MB								581		255	661					
CSA 40-210	160	2"	2"	80	243	208	460	254	686	115	280	766	937	160	430	543	430
	80				168	141	254	125	375		235	455			395	399	
	90				175			140	422			502					
	100				161	142	314	160	454		240	534			400	445	
	112				168			190	475		235	555			395	440	
	132 M-S				180	164	389	216	537		250	617			410	472	
CSA 40-260	132 MB	2"	2"	100					581	145		682	681	172			370
	160				243	208	460	254	686		280	766			440	543	
	90				217	163	254	140	444			544					
	100				203	164	314	160	476			576				465	
	112				210			190	497		260	597			432		
	132 M-S				221	185	389	216	558			658				482	
CSA 50-145	132 MB	2"1/2	2"	80					602	95		702	779	139			330
	160				280	225	460	254	703		280	803			452	502	
	90				195			279	785		305	885			477	637	
	100				169	141	254	125	374		220	454			359	384	
	112				175			140	422		230	502			369	394	
	132 M-S				161	142	314	160	454		240	534			379	445	
CSA 50-175	132 MB	2"1/2	2"	80	168			190	475	100	230	555	639	154	369	435	370
	160				180	164	389	216	537		255	617			394	477	
	80				169	141	254	125	374		230	454			384	394	
	90				175			140	422			502					
	100				161	142	314	160	454		240	534			394	445	
	112				168			190	475		230	555			384	435	

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

DIMENSIONES CSA

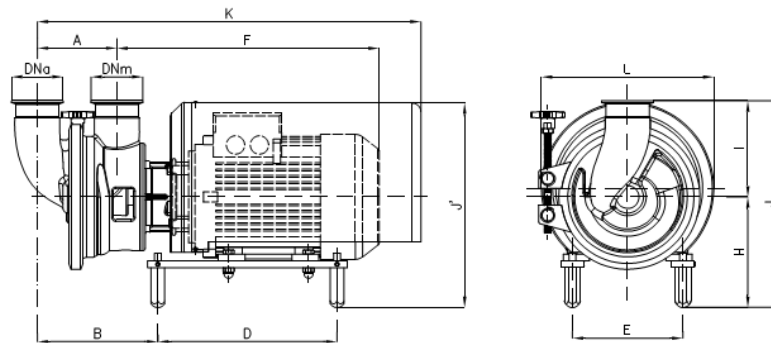


Cotas aproximadas - DN = Boca tipo "Clamp" ISO 2852 - Ejec. con motores estándar IEC-EN

Bomba tipo	Motores IEC tamaño	DNa	DNm	A	B	C	D	E	F	G	H	K	K'	I	J	J'	L
CSA 50-210	90	2" 1/2	2"	80	175	141	254	140	422	120	240	502	569	168	408	412	298
	100				161	142	314	160	454			534	639			445	330
	112				168			190	475			555					
	132 M-S				180	164	389	216	537		250	617	682		418	472	370
	132 MB								581			661	737				
	160				243	208	460	254	686			766	937			543	430
CSA 50-260	180	2" 1/2	2"	90	173	223	600	279	783	145	270	863	1072	179	449	475	330
	100				194			160	477			567	672			459	430
	112				201	165	314	190	498			588				637	420
	160				273	228	460	254	706		280	796	970			543	430
	180				188		600	279	788			878	1087			637	420
	178				172	145	254	125	379			458	572	138	383	409	298
CSA 65-145	90	3"	3"	79	164			160	458	112	245	537				450	330
	100				171	146	314	190	479			558	642				
	112				183	168	389	216	585		255	620	685		393	477	370
	132 M-S								541			664	740			543	430
	132 MB				246	212	460	254	690			769	940			409	298
	160				178	144	254	140	425		120	505	572	138	393	477	370
CSA 65-175	90	3"	3"	80	164	145	314	160	457		255	537	642			460	330
	100				171			190	478			558	685			477	370
	112				183	167	389	216	584		280	620	685		418	543	430
	132 M-S				246	211	460	254	689			769	940			637	420
	132 MB				174	224	600	279	784			864	1073			429	298
	160				212	168	254	140	449		135	539	605	158	423	470	330
CSA 65-210	90	3"	3"	90	198	169	314	160	481		265	571	676			543	430
	100				205			190	502			592				637	420
	112				276		460	254	709		280	799	974		463	543	430
	132 M-S				191	231	600	279	791			881	1090			637	420
	132 MB																
	160				207	168	314	160	480		155	580	685	193	478	490	330
CSA 65-260	100	3"	3"	100	214			190	501		285	601				507	370
	112				226	190	389	216	563			663	728			548	430
	132 M-S				285		460	254	708			707	783			637	420
	132 MB				200	230	600	279	790		305	808	983		498	548	430
	160				231			160	486			890	1099			637	420
	180				220	174	315	190	507			586	691				
CSA 80-175	100	4"	3"	100	231	195	389	216	568	139	275	607		164	439	480	330
	112				291		460	254	714			668	734			497	370
	132 M-S				206	236	600	279	796			814	989		444	543	430
	132 MB											896	1105			637	420
	160				210			160	483		145	583	688		449	490	330
	180				217	171	314	190	504			604				507	370
CSA 80-210	100	4"	3"	100	229	193	389	216	566		285	666	731		164	548	430
	112				288	233	460	254	711			811	986			548	430
	132 M-S				203		600	279	793		305	893	1102		469	637	420
	132 MB				210			160	483			583	688			505	330
	160				217	171	314	190	504			604				522	370
	180				229	193	389	216	566		165	666	731		209	522	370
CSA 80-260	100	4"	3"	100	288	233	460	254	711			710	786		509	563	430
	112											811	986			637	420
	132 M-S				246	200	389	216	573		305	683	750		214	527	370
	132 MB				221	240	600	279	800			911	1120			634	420
	160				246	195	389	216	612			727	803		216	547	370
	180				305		460	254	713		186	828	1004			588	430
CSA 100-210	100	5"	4"	111	220	235	600	279	795			910	1118			657	420
	180																
CSA 100-260	100	5"	4"	115						186	325			216	541		
	180																

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

DIMENSIONES ASH



Cotas aproximadas - DN = Boca tipo "Clamp" ISO 2852 - Ejec. con motores estándar IEC-EN

Bomba tipo	kW	DNa	DNm	A	B	D	E	F	H	K	I	J	J'	L
ASH 40	1,1	1" 1/2	1" 1/2	90,5	183	245	140	410	207	551	139	346	354	239
	1,5				148,5	314	160	433	217	617		356	422	330
ASH 50	2,2	2"	2"	118	176,5	314	160	432	217	645	149	366	422	330
	4				183,5		190	453	230			378	435	
ASH 60	4	3"	3"	139	211	314	190	460	229	672	169	398	434	330
	5,5				215	390	216	512	249	749		418	472	372
ASH 65	7,5	3"	3"	139	215	390	216	512	249	749	169	418	472	372
	15				266	460	254	650	280	914		449	544	432

QUILINOX

C/ Maximiliano Thous, 22B. 46009, Valencia (España)

Tlf: 902 304 316 · Fax: 902 876 377

www.quilinox.com · quilinox@quilinox.com

CSF
inox



Todas las otras indicaciones, datos y representaciones realizadas que incluye la presente publicación son indicativos y no constituyen ningún vínculo. Quilinox y CSF INOX no aceptan ninguna garantía ni obligación por la utilización del presente documento, por lo que se refiere a la información aquí incluida. Pero sobre todo declinan cualquier tipo de responsabilidad por omisiones y/o errores en los datos y dibujos del documento. Se precisa que los datos técnicos, la información y las representaciones incluidas en el presente documento son de un valor puramente indicativo y aproximado. Quilinox y CSF INOX se reservan el derecho de poder modificar los datos, los dibujos y la información del presente documento en cualquier momento y sin necesidad de aviso previo.

TWENTY YEARS OF FLUID EVOLUTION

QUILINOX OFFICIAL

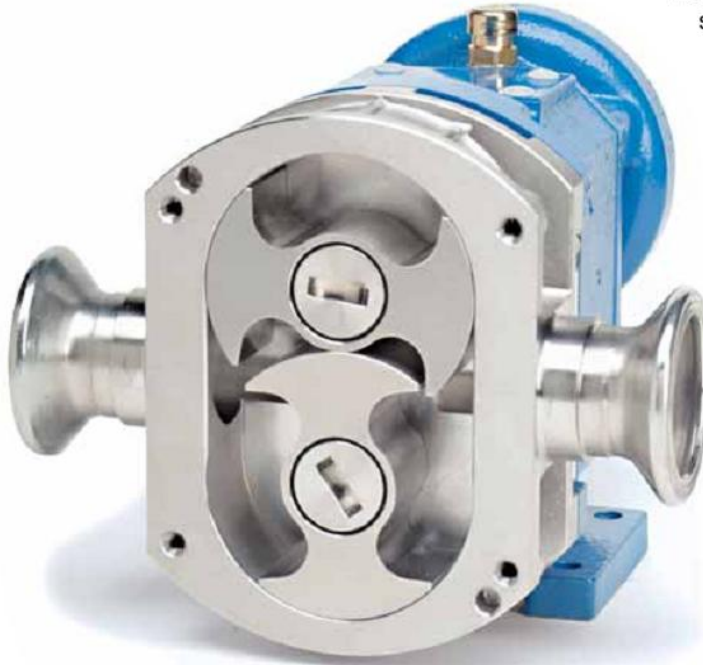


monobloc lobe pumps
BE series

ALL THE POWER WITH A DELICATE TOUCH

EDIZ. 02/08

STANDARD VERSION



The BE SERIES Lobe Pumps derives from the well-known B series pump since it shares several of its characteristics. The AISI 316 L stainless steel pump is assembled on a cast iron gear box which has a protective coating in epoxy paint finish. The chamber separating the pump body and gear box avoids any contamination between the pumped fluid and the lubricant.

The BE series pumps are simple and robust and are characterised by their monobloc design. The drive unit, thanks to the hollow shaft and to the rear cover provided with an IEC flange, is directly fixed to the pump by creating a unique compact and light body.

The new design, with smooth cover and fixing nut built in the rotors, improves the cleaning (CIP) and sterilisation (SIP) standard.

The lobe pumps of this series are provided only with bi-lobe rotary piston rotors, in AISI 316 stainless steel or in antifriction alloy Acteon, which ensure an excellent volumetric efficiency and a smooth and regular transfer of several liquid or viscous products.

The bi-lobe rotary piston rotors have big chambers that close twice per revolution and make these pumps suitable for transferring fluids containing solids in suspension, from 10 mm. for the BE 115 model to 19 mm. for the BE 440 model.

Also in the BE series, the main parts (rotors, seals) and the optional parts can be added or changed according to different utilisation requirements. The wide range of available seals and gaskets (similar to those of the B series) allows an excellent choice according to the characteristics of the transferred product.

In less demanding works, the BE pumps can replace the B pumps and, meeting the increasing demand of cheap lobe pumps with a high sanitary standard, allow to widen the utilisation possibilities of the OMAC pumps.



SPECIAL VERSIONS

HEATED JACKET BODY



front cover can be made available and it's own or with heated jacket on the body.

If it is necessary to keep the pumped fluid at a constant temperature a heated jacket body is available for all the pumps. This allows the circulation of heating or cooling liquid. Typical examples are melted fats, butter and margarine, chocolate and glucose. On request the heated jacket

ENLARGED SUCTION INLET



of the product under gravity directly beneath the hopper.

The BE115, BE220, BE330, BE440 Models can be supplied with enlarged rectangular suction inlets allowing highly viscous products such as semi-solid pieces to be pumped. In these cases the pump is generally positioned with the port on a vertical axis in order to allow the entry

PRESSURE RELIEF VALVE SYSTEMS



Integral pressure relief valve

suitable for CIP process line and functions for either direction of flow. The external pressure relief valve (unidirectional) can be assembled in order to recycle the whole pumped product. This valve is especially suitable for frequently operations and for volatile, heat or shear sensitive product. For both of the valves a manual, pneumatic or automatic operation is available.

The pumps can be supplied on request with hygienic by-pass or pressure relief valves. This device protects the pump from pressure peaks or restrictions in the discharge and assures excess liquid deviation during CIP and SIP. The relief valve can be manually selected as a flow regulator in order to pass product allowing the pump can be run continuously. This valve can be incorporated in the end cover that replace the standard cover, providing a pressure relief valve loop from discharge to the suction area; alternatively it can be incorporated in the discharge pipework, reliving excess pressure by by-passing product through a loop back to the suction side. The integral relief valve is



External pressure relief valve

MOUNTING AND DRIVES



The new OMAC pumps can be supplied either bare shaft or complete with directly flanged drive unit. The pump unit becomes very compact without bare rotation shafts and with minimum dirt-collecting surfaces. Trolleys and such accessories as feet for vertical connections, adjustable feet, and stainless steel shrouds covering the motors can also be supplied as to build pumping sets which exactly satisfy customer's requirements. Power transmission can be variable speed via mechanical, hydraulic, belt adjustable speed unit or inverter integrated into the motor; alternatively can be fixed speed via reduction geared motor. For controlling the pumps the options are various and these include on off reversing switch, IP65 inverter, electric panel with IP21 inverter for remote control signal.



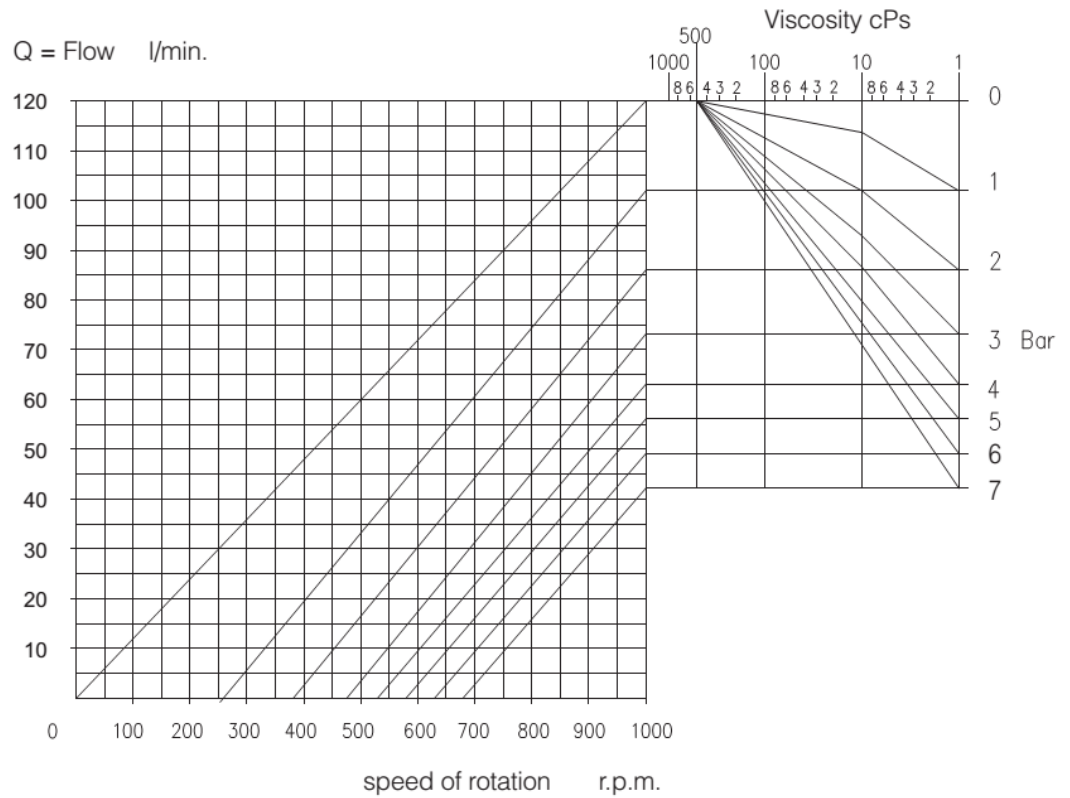
PUMP PERFORMANCES CHART

BE110 Stainless Steel Dual Wing Rotary Piston

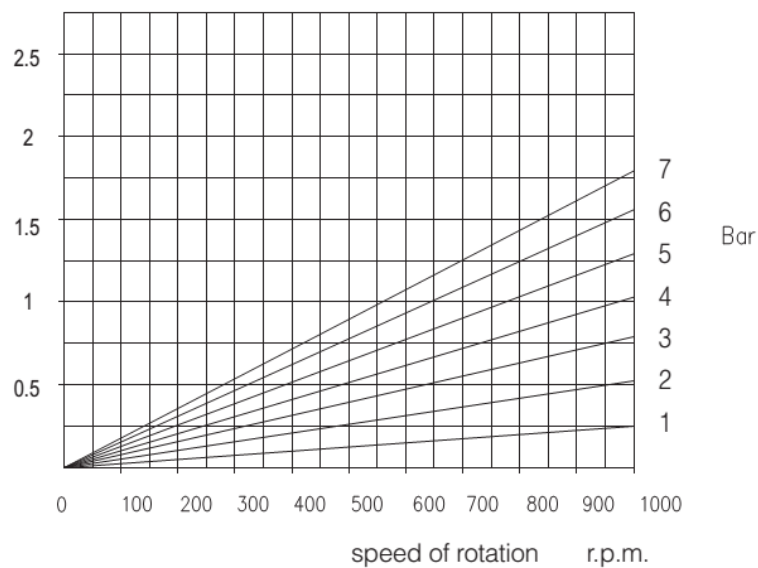
version ST

cod=5

4



Kw = absorbed power





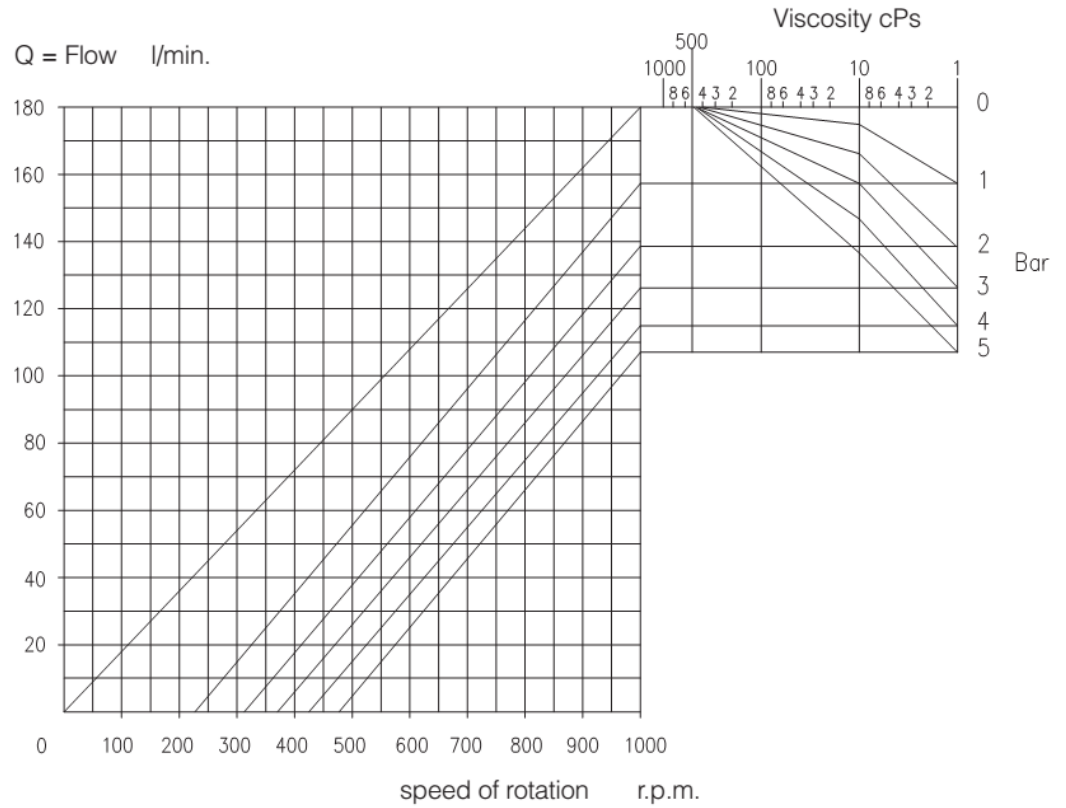
PUMP PERFORMANCES CHART

BE115 Stainless Steel Dual Wing Rotary Piston

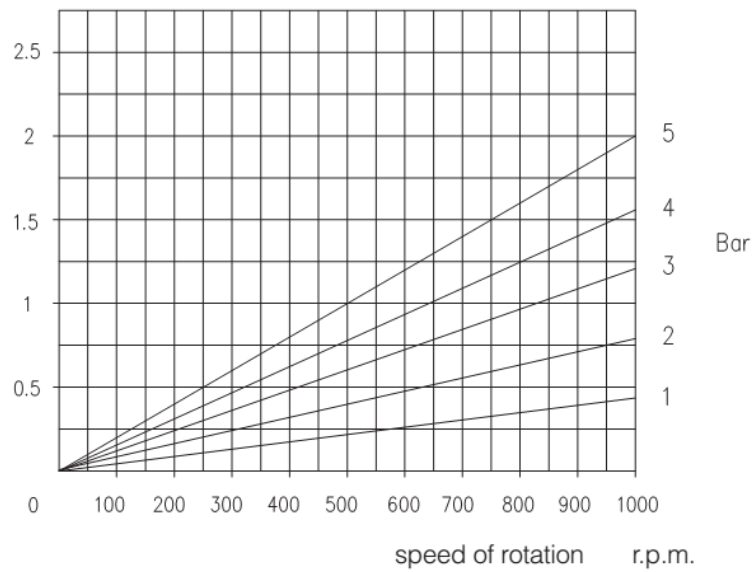
version ST

cod=5

5



Kw = absorbed power





PUMP PERFORMANCES CHART

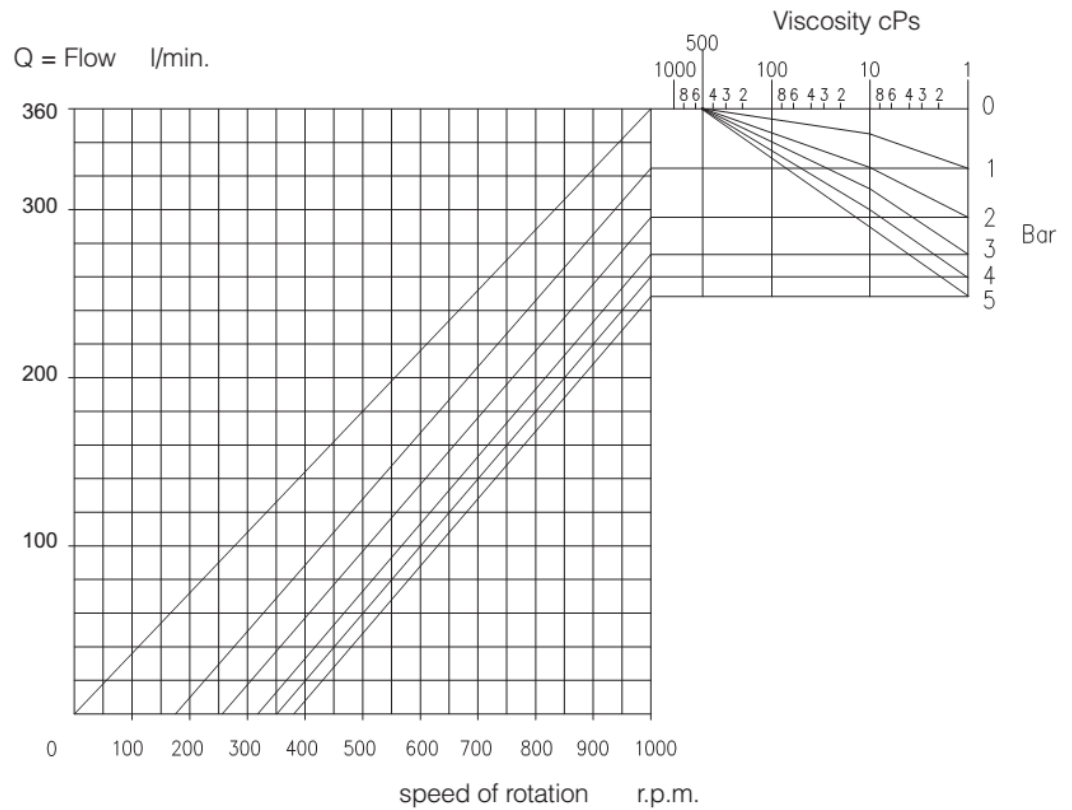
BE220

Stainless Steel Dual Wing Rotary Piston

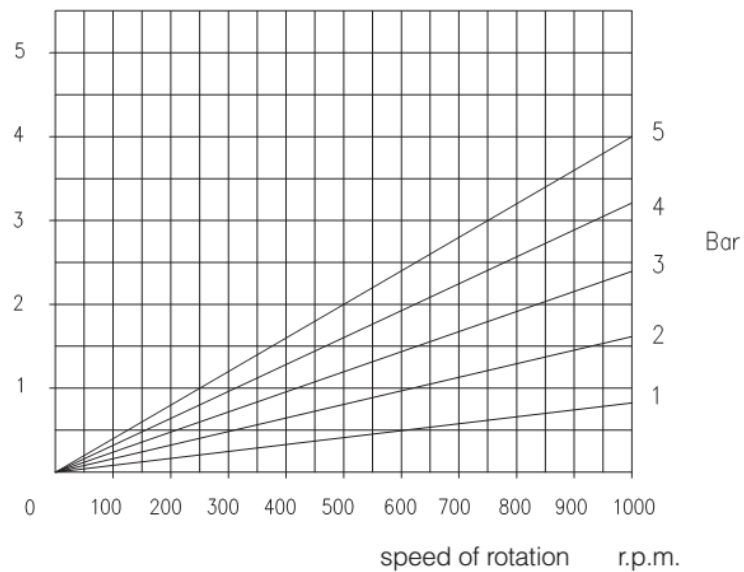
version ST

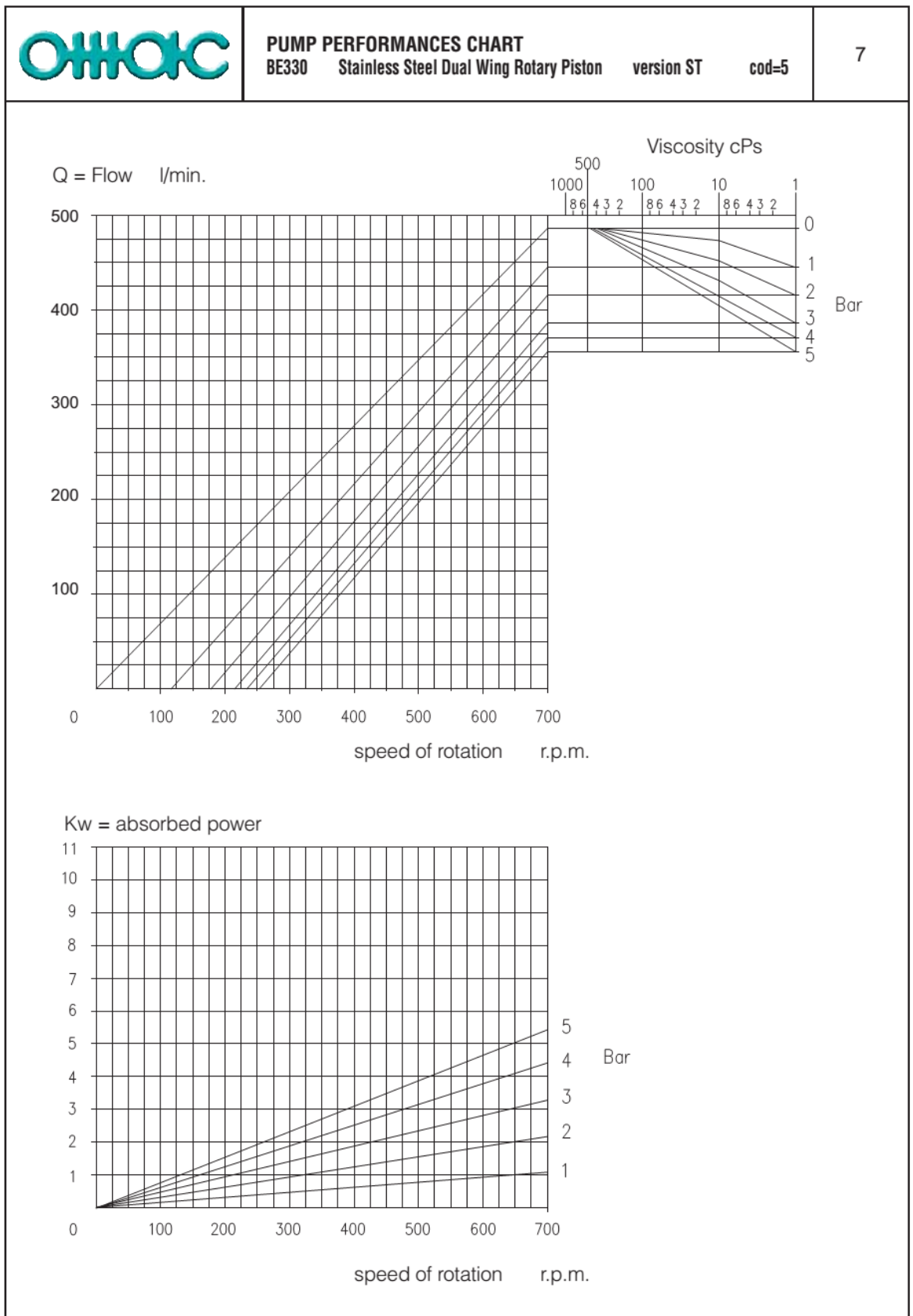
cod=5

6



Kw = absorbed power







PUMP PERFORMANCES CHART

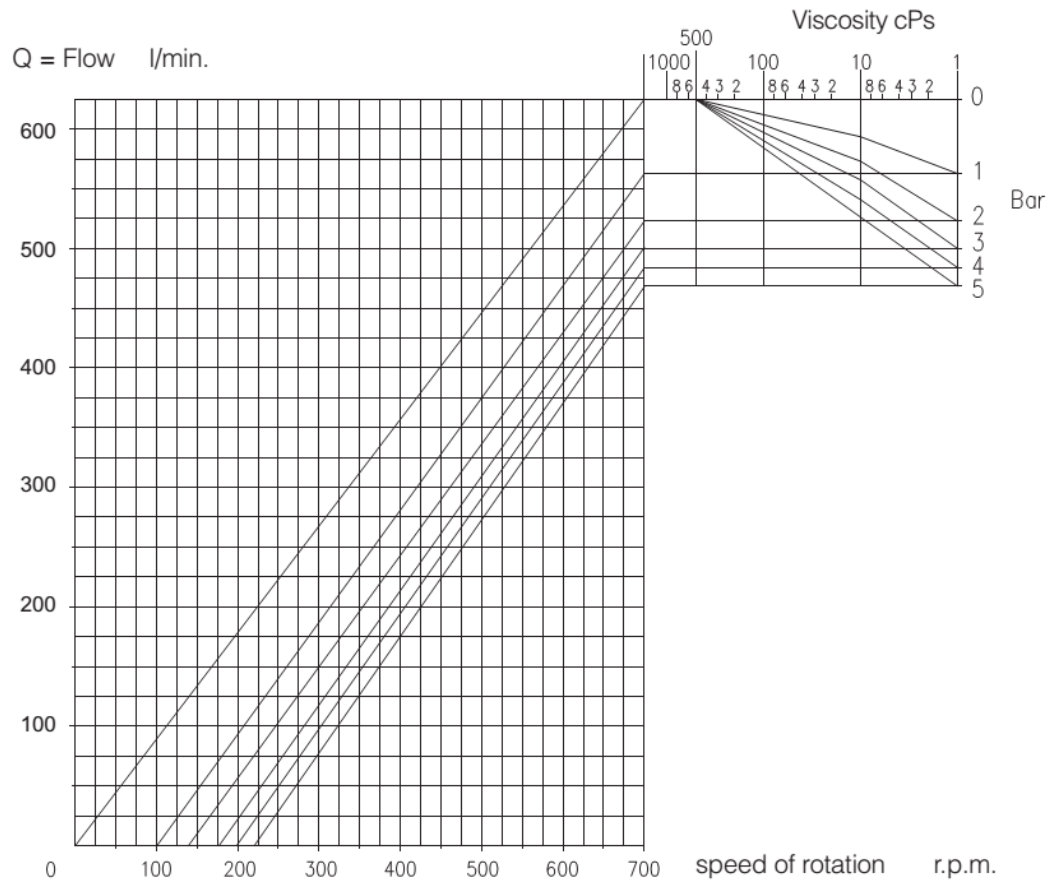
BE390

Stainless Steel Dual Wing Rotary Piston

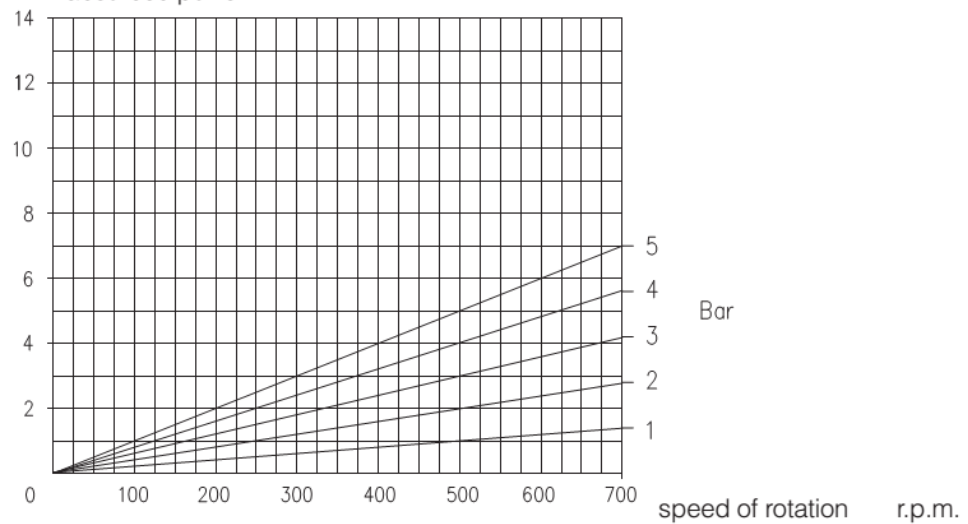
version ST

cod=5

8



Kw = absorbed power

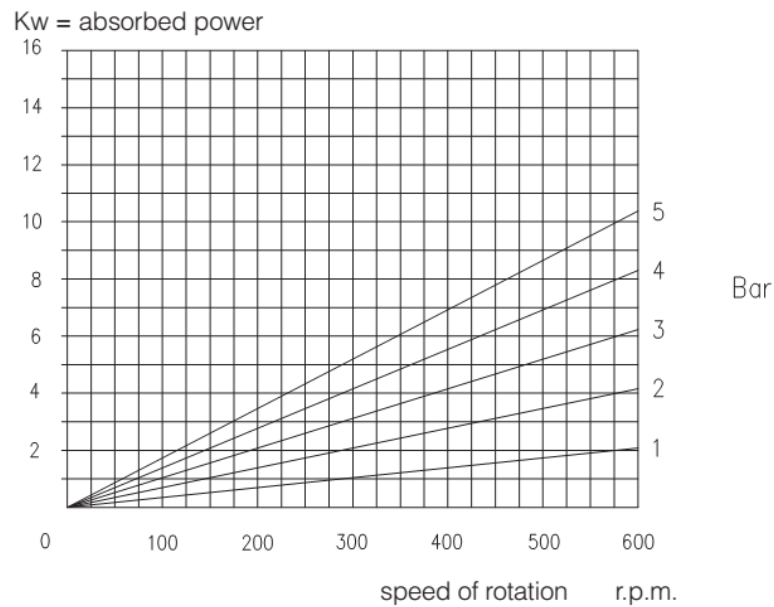
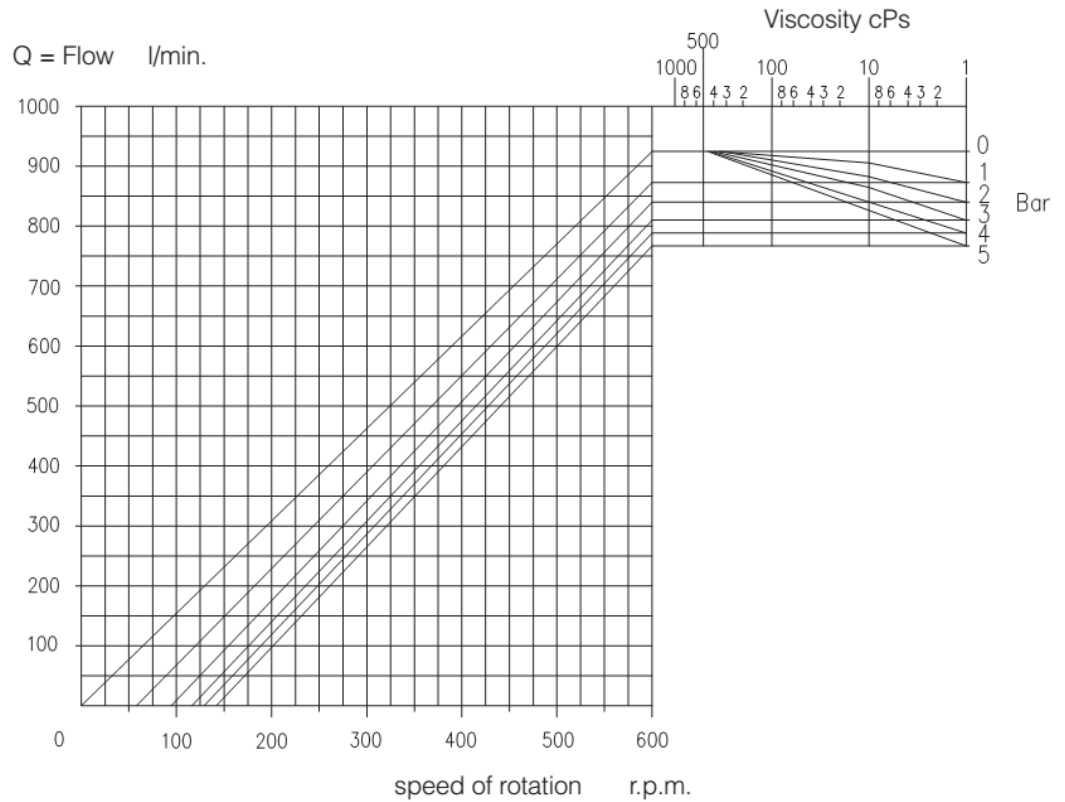




PUMP PERFORMANCES CHART

BE440 Stainless Steel Dual Wing Rotary Piston version ST cod=5

9

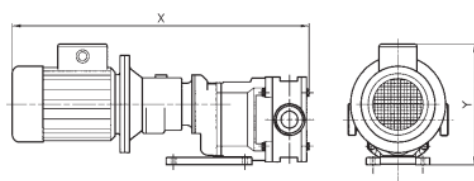


TECHNICAL DATA

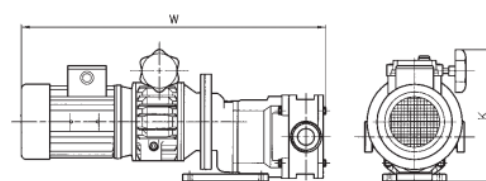
HYDRAULIC CHARACTERISTICS

PUMP MODEL	THEORETIC CAPACITY lt/100 giri	MAX SPEED	MAX POWER kw	MAX PRESSURE bar
BE110	12	1000	2,2	7
BE115	18	1000	2,2	5
BE220	34	950	4	5
BE330	70	700	5,5	5
BE390	90	700	5,5	5
BE440	155	600	9,2	5

OVERALL DIMENSIONS IN MM.



WITH GEARED MOTOR



WITH VARIABLE SPEED MOTOR

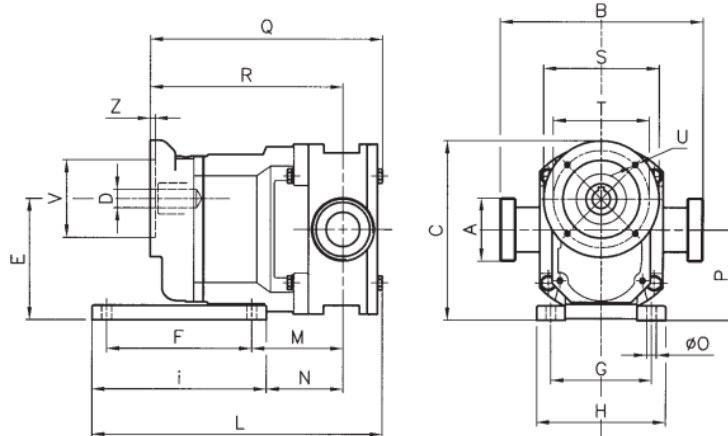
TIPO DI POMPA		BE 110						BE 115						BE 220						BE 330						BE 390						BE 440											
INGOMBRI*		X	Y	W	K	P ₁	P ₂	X	Y	W	K	P ₁	P ₂	X	Y	W	K	P ₁	P ₂	X	Y	W	K	P ₁	P ₂	X	Y	W	K	P ₁	P ₂	X	Y	W	K	P ₁	P ₂						
POWER KW	0,75	639	240	624	277	34	54	651	240	636	277	35	55																														
	1,1							701	274	706	311	45	65	773	286	765	351	65	130																								
	1,5													773	286	765	351	70	135																								
	2,2													793	303	872	384	75	145	882	328	944	409	100	165	1002	328	964	409	101	166												
	3																			882	328	944	409	105	170	1002	328	964	409	106	171												
	4																			882	349	944	409	110	175	1002	349	964	409	111	176	949	393	1019	474	180	245						
	5,5																																										
	7,5																																										
	9,2																																										

P₁[kg] = Weight: PUMP WITH GEARED MOTOR

P₂[kg] = Weight: PUMP WITH VARIABLE SPEED MOTOR

* Approximate dimensions to confirm according to available drives

OVERALL DIMENSIONS IN MM. WITH IEC FLANGE FOR MOTORIZATION CONNECTION



TYPE PUMP GAS-BSP PORTS	POSITION																					WEIGHT
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	
BE110-F1	1"1/2	170	185	19	125	150	105	134	180	291	82.5	67.5	10	93.5	231	188	120	100	M6 (8)	80	5	20
BE110-F2			185	20											231	188	120	100	M6 (8)	80	5	20
BE110-F3			285	19											245	201	200	165	M10 (4)	130	4	22
BE110-F4			285	24											245	201	200	165	M10 (4)	130	4	22
BE110-F5			205	24											245	201	160	130	M8 (4)	110	4	21
BE110-F6			185	24											231	188	120	100	M6 (8)	80	5	20
BE115-F1	1"1/2	170	185	19	125	150	105	134	180	303	94	79	10	93.5	243	199	120	100	M6 (8)	80	5	21
BE115-F2			185	20											243	199	120	100	M6 (8)	80	5	21
BE115-F3			285	19											257	213	200	165	M10 (4)	130	4	23
BE115-F4			285	24											257	213	200	165	M10 (4)	130	4	23
BE115-F5			205	24											257	213	160	130	M8 (4)	110	4	22
BE115-F6			185	24											243	199	120	100	M6 (8)	80	5	21
BE220-F1	2"	208	245	25	165	170	125	160	200	359	119	104	12	127.5	311	256	160	130	M8 (4)	110	5	43
BE220-F2			290	28											327	272	250	215	M12 (4)	180	5	47
BE220-F3			245	28											311	256	160	130	M8 (4)	110	5	43
BE220-F4			265	28											327	272	200	165	M10 (4)	130	5	44
BE330-F1	3"	236	290	30	190	200	140	180	240	443	151	131	14	145	389	339	200	165	M10 (4)	130	5	65
BE330-F2			315	28											405	351	250	215	M12 (4)	180	5	68
BE390-F1	3"	336	290	30	190	200	140	180	240	458	171	151	14	145	404	359	200	165	M10 (4)	130	5	69
BE390-F2			315	28											416	371	250	215	M12 (4)	180	5	72
BE440-F1	4"	335	355	30	255	250	190	240	300	530	157.5	132.5	18	192.5	453	367.5	200	165	M10 (4)	130	5	135
BE440-F2			405	48											473	387.5	300	265	M12 (4)	230	6	142
BE440-F3			350	40											470	384	250	215	M12 (4)	180	5	139

PUMPS WITH PORTS:

TYPE PUMP	UNI2278 PN16 FLANGED PORTS		DIN 11851		SMS		IDF-ISS		RJT		TRI-CLAMP		OENOLOGICAL	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
BE110/115	DN40	186	DN40	210	DN38	210	DN38	210	DN38	210	DN 1 1/2	210	DN40	218
BE220	DN50	228	DN50	228	DN51	248	DN51	248	DN51	248	DN 2"	248	DN50	256
BE330/390	DN80	256	DN80	296	DN76	296	DN76	276	DN76	276	DN 3"	290	DN80	290
BE440	DN100	355	DN100	395	DN101	395	DN101	378	DN101	378	DN 4"	392	DN100	389

SOME PUMPED PRODUCTS

vinegar	ketchup	tomato purée
distilled water	milk	dicad tomaatoes
hydrogen	condensed milk	perfumes
peroxide	latex	mashed potato
alcohol	yeast	fruit purée
adhesives	liquor	brine
beer	lotions	saucés
soup	mayonnaise	blood
melted butter	malt	soap
curd	melted margarine	syrup
mincemeat	jam	shampoo
chocolate	marzipan	caustic soda
glue	molasses	galvanic solution
cream	mushroom	sugar solution
toothpaste	honey	solvents
detergents	coconut oil	fruit juice
emulsions	olive oil	tea
explosives	baby food	surfactants for
essences	sponge-cake	detergents
milk enzymes	cream	tointment
strawberries	paraffin	eggs
ice-cream	suppository	vaseline
gelatine	paste	paint
icing	hand cleaning	wine
glycerine	paste	yoghurt
guçose	polymers	
animal grease	fruit pulp	

INDUSTRIAL APPLICATIONS

COSMETICS:	beauty creams, toothpaste, shampoo, detergents, lotions
CHEMICAL:	paints, enamels, detergents, polymers, resins, dodecylbenzene, acids, etc.
BEVERAGES:	wine, alcohol, beer, soft drinks, syrup, tea, fruit juice, grape juice, mineral water
FOOD:	fruit and tomato concentrates, fruit and vegetable salads, preserved vegetables, sauces, mayonnaise, homogenized meat, starch, vegetable purées, etc.
CONFECTIONERY:	chocolate, cream, sponge-cake, products with yeast, fillings, fats, margarine, jam, marmalade
DAIRY:	milk and its products, sofft cheese, yoghurt, fruit for yoghurt, butter, curd, cream, whey, etc.



C/ Maximiliano Thous, 22B. 46009, Valencia (España)
Tlf: 902 304 316 · Fax: 902 876 377
www.quilinox.com · quilinox@quilinox.com

ABS aireador venturi jet

Aireador con uno o dos eyectores acoplado a un motor Premium-Efficiency de la gama de bombas ABS XFP y apto para instalación fija o transportable.

Aplicaciones

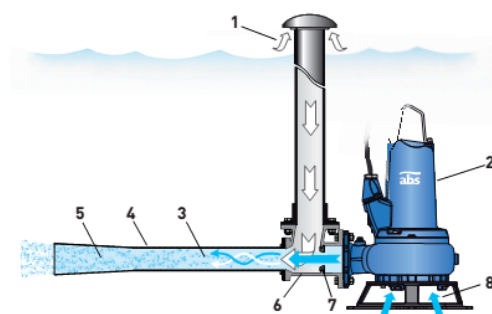
Efecto combinado de aireación y agitación de aguas residuales en balsas de pequeño y mediano tamaño. El aireador venturi jet es igualmente idóneo para la limpieza de tanques de tormentas y para utilizarse en balsas de homogeneización donde la combinación de aireación y agitación ayuda a reducir la septicidad y minimizar los olores.

Características

- Sistema auto-aspirante de instalación fija a través de un tubo guía y un pedestal, o transportable con una base de apoyo al suelo. La opción transportable está especialmente diseñada para trabajos de emergencia o de aireación intermitente ya que además permite variar su posición dentro del depósito.
- Utiliza bombas estándar de la serie XFP equipadas con motor Premium-Efficiency de régimen continuo, doble junta mecánica y sistemas de vigilancia de la temperatura y la estanqueidad.
- Diseño hidráulico anti-atascos con el impulsor Contrablock Plus.
- Bajo nivel de ruido y generación reducida de aerosoles en comparación con los sistemas que trabajan en superficie.
- Temperatura máxima permitida del líquido en funcionamiento continuo: 40 °C.

Principio de inyección venturi

El aireador venturi jet de ABS está basado en el principio de inyección a través del efecto venturi que produce una mezcla efectiva de aire-agua creando una óptima aireación y suspensión de los sólidos. La velocidad del flujo de agua primario generado por la bomba se acelera al salir a través de una boquilla de menor sección reduciendo lo suficiente la presión interna como para aspirar aire (flujo secundario). Ambos flujos de agua y aire se mezclan completamente en el eyector y lo abandonan como un chorro de agua con burbujas que se incorpora al depósito.



- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. Toma de aire | 5. Flujo mixto |
| 2. Bomba sumergible XFP | 6. Cámara del venturi |
| 3. Zona de mezcla | 7. Entrada boquilla |
| 4. Eyectores | 8. Entrada de líquido |



Motor

Motor IE3 Premium-Efficiency, trifásico, con rotor en jaula de ardilla;
 400 V; 50 Hz; 4 polos (1450 r.p.m.) y 6 polos (980 r.p.m.).
 Tipo de protección IP 68
 Aislamiento del estator: Clase H.
 Arranque: 1,3 - 2,9 kW = directo (DOL).
 4,0 - 11,0 kW = estrella-triángulo (YΔ).
 Refrigeración: 100C - 150E auto-refrigeración,
 modelos 150G y 200G con sistema de refrigeración cerrado.
 Factor de servicio: 1.3

Materiales

Aireador	Material
Eyectores	Acero inox. 1.4301 (AISI 304)
Alojamiento cámara venturi	Fundición gris EN-GJL-200
Bomba	Material
Alojamiento del motor	Fundición gris EN-GJL-250
Eje del motor	Acero inox. 1.4021 (AISI 420)
Voluta	Fundición gris EN-GJL-250
Impulsor	Fundición gris EN-GJL-250
Placa base	Fundición gris EN-GJL-250
Asa de elevación	Acero inox. 1.4401 (AISI 316)
Tornillería	Acero inox. 1.4401 (AISI 316)

Notas:

1. Base soporte y pedestal suministrados como accesorios.
2. Tubo de entrada de aire y conexiones, codos y bridas son suministro del cliente.

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Datos técnicos

Modelo bomba XFP	Motor	Tamaño impulsor	Salida bomba DN	Entrada aireador DN	Eyector ø mm	Q agua m ³ /h	Potencia motor* (kW)	Corriente nominal A	Cable	Peso** (bomba) kg
100C-CB1	PE13/6	1	100	100	55	50	1.6	1.3	3.6	105
	PE22/4	4	100	100	55	70	2.5	2.2	4.6	107
	PE29/4	2	100	100	55	100	3.4	3.0	6.4	109
100E-CB1	PE40/4	5	100	100	55	140	4.4	4.0	8.4	159
150E-CB1	PE60/4	4	150	150	80	190	6.7	6.0	13.6	186
	PE90/4	1	150	150	80	240	10.0	9.0	18.1	198
150G-CB1	PE160/4	3	150	150	80	315	17.4	16.0	33.1	347
200G-CB1 ¹⁾	PE185/4	2	200	150	80	500	20.0	18.5	36.9	375

* P1 = potencia en la red. P2 = potencia en eje del motor.

** Peso del aireador: DN 100 = 20 kg, DN 150 = 40 kg (no incluye tubo de entrada de aire o conexiones).

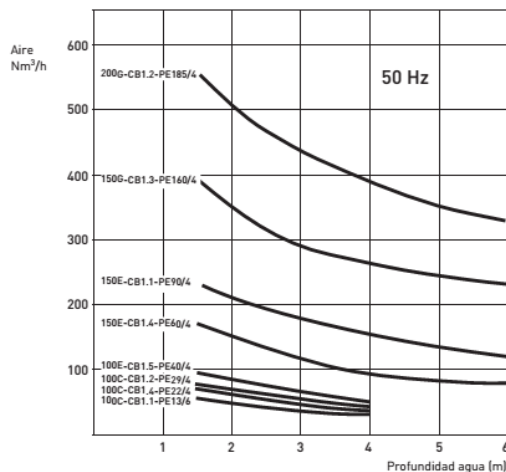
Base transportable: 100C = 9,5 kg, 100 y 150E = 10,5 kg, 150 y 200G = 17,5 kg.

1) XFP 200G requiere dos eyectores. Se necesita pieza T DN 150, 2 codos DN 150 y brida adaptador DN 200 / DN 150 para conexión con la descarga de la bomba (no incluido en suministro).

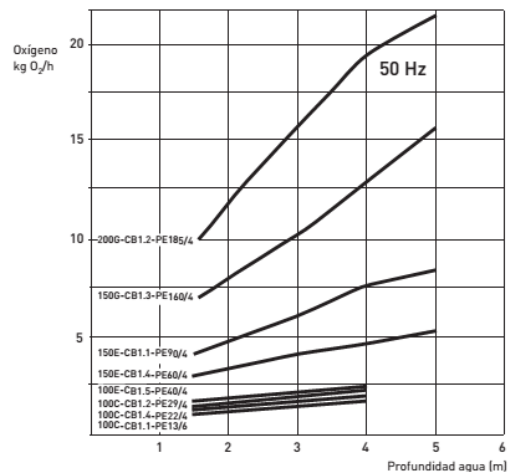
Selección del aireador / Dimensiones del depósito (m)

Bomba XFP	Motor	Tamaño impulsor	Balsa de agua residual (tamaño muestra)			Tanque de tormentas (tamaño muestra)		
			Rectangular	Cuadrado	Circular	Rectangular (salida en un lateral)	Rectangular (canal central)	Circular (salida central)
100C-CB1	PE13/6	1	6.0 X 4.0	4.9	ø 5.5	-	-	-
	PE22/4	4	7.2 X 4.8	5.9	ø 6.6	-	-	-
	PE29/4	2	8.0 X 5.3	6.5	ø 7.4	8.0 X 6.0	8.0 X 5.0	ø 5.5
100E-CB1	PE40/4	5	9.5 X 6.3	7.8	ø 8.8	10.0 X 8.0	10.0 X 6.5	ø 6.5
150E-CB1	PE60/4	4	12.0 X 8.0	9.8	ø 11.1	18.0 X 10.0	15.0 X 8.0	ø 8.0
	PE90/4	1	15.0 X 10.0	12.2	ø 13.8	22.0 X 12.0	20.0 X 10.0	ø 13.0
150G-CB1	PE160/4	3	17.5 X 11.5	14.2	ø 16.0	24.0 X 13.0	22.0 X 10.0	ø 14.0
200G-CB1	PE185/4	2	21.0 X 13.0	16.4	ø 18.0	27.0 X 14.0	24.0 X 10.0	-

Rendimiento del caudal de aire



Rendimiento de transferencia de oxígeno



Datos de transferencia de oxígeno según Norma ASCE 2-06, 2006 "Medición de transferencia de oxígeno en agua limpia".



AMBERJET™ UP4000

Semiconductor Grade Anion Exchange Resin

Introduction

AMBERJET UP4000 resin is a uniform particle size, gel type, strongly basic, anion exchange resin developed specifically for use in producing ultrapure water for the semiconductor industry. It is intended for use in regenerable primary or polishing mixed beds, and it is sold in the fully regenerated hydroxide form to insure minimum impurity leakage. AMBERJET UP4000 resin is designed to be paired with AMBERJET UP1400 anion exchange resin for mixed bed applications.

AMBERJET UP4000 resin can also be used as the anion exchange resin component of a non-regenerable polishing mixed bed to achieve the lowest possible leakage of ionic species, silica, TOC, and sub-micron particles. For full information on the application of Amberjet UP4000 resin in regenerable mixed beds see Applications Guidelines for Regenerable Mixed Beds in High Purity Water (IE-614EDS).

Properties

Physical Form	Yellow translucent spherical beads
Matrix	Polystyrene divinylbenzene copolymer
Functional group	Quaternary ammonium
Ionic form as shipped	Hydroxide
Total exchange capacity	≥ 1.10 eq/L (OH ⁻ form)
Moisture holding capacity	54 to 60 % (OH ⁻ form)
Shipping weight	689 g/L (43 lb/ft ³)
Particle Size	
Uniformity coefficient	≤ 1.2
Harmonic mean size	0.58 to 0.68 mm < 0.425 mm 0.5 % max

Suggested Operating Conditions

Water Treatment		
Service Flow Rate (as a mixed bed)	20 to 40 BV [*] /h	(2.5 to 5 gpm/ft ³)
Regeneration		
Regenerant	NaOH	
Level (100% basis)	90 to 190 g/L	(6 to 12 lbs/ft ³)
Concentration	4 to 5 %	
Maximum regeneration temperature	60°C	(140° F)
Minimum contact time	30 minutes	
Slow rinse (at regeneration flow rate)	1 to 2 BV	(8 to 15 gal/ft ³)
Fast rinse	4 to 8 BV	(30 to 60 gal/ft ³)

* 1 BV (Bed Volume) = 1 m³ solution per m³ resin

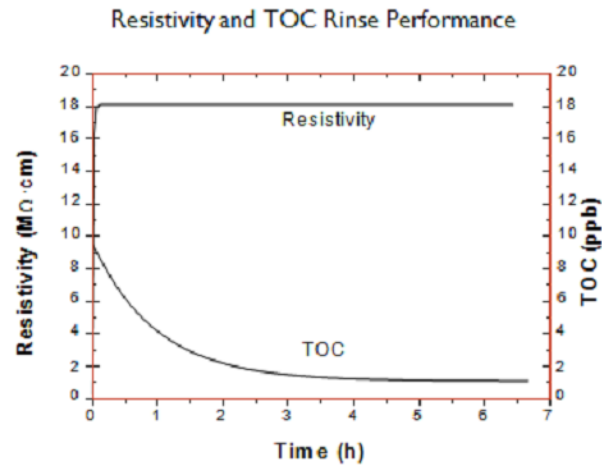
Quality assurance

AMBERJET UP4000 resin is QC tested by Dow Water & Process Solutions for resistivity, total organic carbon, and kinetic performance in a mixed bed with AMBERJET UP1400 resin. This insures that all batches of AMBERJET UP4000 resin will meet stringent UPW performance requirements on these most critical parameters.

Dow Water & Process Solutions will fully support the quality and performance of AMBERJET

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

UP4000 resin and AMBERJET UP1400 resin in UPW applications in order to assure full customer satisfaction that the delivered product is of the highest quality. Typical TOC and resistivity rinse curves based on our quality control procedure for AMBERJET UP4000 resin shown below.



For more information about DOW™ resins, call the Dow Water & Process Solutions business:

North America: 1-800-447-4369
Latin America: (+55) 11-5188-9222
Europe: +800-3-694-6367
Italy: +800-783-825
South Africa: +0800 99 5078
Pacific: +8007776 7776
China: +400 889-0789
<http://www.dowwaterandprocess.com>

Notice: No freedom from infringement of any patent owned by Dow or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. The product shown in this literature may not be available for sale and/or available in all geographies where Dow is represented. The claims made may not have been approved for use in all countries. Dow assumes no obligation or liability for the information in this document. References to "Dow" or the "Company" mean the Dow legal entity selling the products to Customer unless otherwise expressly noted. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.



Oxygen Fermentation Probes

Ox

Cole-Parmer Glass DO Probes

Low-cost, glass-body design

■ Polarographic

These economical glass-body probes are ideal for your laboratory fermentation applications where sterilization takes place in a separate autoclave. Probes feature a threaded detachable cable lead. Order appropriate cable separately at bottom of page. Probes work with polarographic DO controllers on page 1251.

REQUIRED SYSTEM Components

- 1 Probe
- 2 Cables

Optional

- 3 Controllers
(see page 1261)

Specifications

Temperature compensation: none

Temperature range: 32 to 140°F (0 to 60°C)

Stability: better than ±2% of reading per week
(constant temperature)

Response time: 98% in 60 seconds

Sterilization temperature: 266°F (130°C)

Maximum pressure: 2.4 bar (35 psi)

Cable connection: threaded detachable lead
(order cables separately below)

1 Polarographic Probes

Catalog number	"H" length ¹	Compatible DO meters	Body diameter	Price
T-05643-00	180 mm	Cole-Parmer,	12 mm	
T-05643-02	210 mm	Ingold, and		
T-05643-04	300 mm	others		

¹"H" length is the immersion depth—the distance from point of penetration inside the vessel to tip of probe.

2 Cables

Catalog number	Meter connection	Cable length	Price
T-29029-00	BNC	5-ft (1.5-m)	
T-29029-20	New Brunswick Scientific	5-ft (1.5-m)	
T-29029-40	Stripped ends	5-ft (1.5-m)	
T-05663-42		10-ft (3-m)	

T-05643-50 Membrane service kit contains ten 1-mil thick PTFE membranes and ten silicone bands

T-05643-51 Membrane service kit contains ten 2-mil thick PTFE membranes and ten silicone bands

T-05663-54 Fill solution for polarographic probes. 125 mL bottle

Technical Assistance?

Contact our expert Application Specialists to assist you. Call 1-847-549-7600 or go online to e-mail or chat live.



Cole-Parmer Stainless Steel DO Probes

Designed for fermentation applications where probes are repeatedly steam-sterilized

■ Polarographic

■ 316 SS construction

All models feature a polarographic sensor, and are available in a variety of body diameters, mounting styles, and immersion ("H") lengths. Temperature compensated probes feature 100 Ω RTD temperature measuring sensor. Order cables separately below. Probes work with polarographic DO controllers on page 1251.

REQUIRED SYSTEM Components

- 1 Probe
- 2 Cables

Optional

- 3 Replacement membrane cartridges
- 3 Controllers
(see page 1261)

Specifications

Temperature compensation

29020-series: none

05726-series: built-in

100 Ω RTD for automatic temperature compensation

Temperature range:

32 to 176°F (0 to 80°C)

Stability: better than ±2% of reading per week

Response time: 98% in 60 seconds

Sterilization temperature: 266°F (130°C)

Maximum pressure: 6 bar (87 psi)

Cable connection: threaded detachable lead (order cables separately below)

1 Polarographic Probes

Catalog number	"H" length ¹	Mount	Body dia	Price
Temperature compensated probes				
T-05726-00	150 mm			
T-05726-02	320 mm	¾" NPT(M)	19 mm	
T-05726-04	420 mm			
T-05726-20	150 mm			
T-05726-22	200 mm			
T-05726-24	320 mm	19 mm	19 mm	
T-05726-26	420 mm			
T-05726-32	150 mm	25 mm	19 mm	
T-05726-34	320 mm			

Non-temperature compensated miniprobes

Catalog number	Body diameter	Mount	Price
T-29020-10	150 mm		
T-29020-12	180 mm		
T-29020-14	220 mm		
T-29020-16	300 mm		

¹"H" length is the immersion depth—the distance from point of penetration inside the vessel to tip of probe.

2 Cables

Catalog number	Meter connection	Cable length	Price
Cables for temperature compensated probes			
T-29029-02	BNC	5-ft (1.5-m)	
T-29029-50	Stripped ends	5-ft (1.5-m)	
T-05663-44		10-ft (3-m)	
Cables for non-temperature compensated probes			
T-29029-00	BNC	5-ft (1.5-m)	
T-29029-40	Stripped ends	5-ft (1.5-m)	
T-05663-42		10-ft (3-m)	

3 Replacement Membrane Cartridges

Cat. no.	Body diameter	Description	Price
T-29020-65	12 mm	1 membrane cartridge	
T-05663-45	19/25 mm	1 membrane service kit	

US Toll-free: 800-323-4340 • Outside the US: 1-847-549-7600 • www.coleparmer.com
Canada 800-363-5900 • India 91-22-6716-2222 • UK 0500-345-300

1263

Características principales del Titrando 842



Titrand 842

Dosificadores	Espacio para 2 Dosino 800 con Unidad de dosificación 807
Conexión para dosificadores adicionales	12 Dosino 800 con Unidad de dosificación 807
Unidad de dosificación inteligente con chip de datos integrado	•
Pasos por contenido de cilindro	Dosino 800: 10'000
Manejo, diálogo	Touch Control, PC Control o tiamo
Agitadores, stand de valoración	En cada uno: 4 Agitadores magnéticos 801 o Agitadores de hélice 802 con Stand de valoración 804
Conexión para Dosimat, Dosino, agitadores	4 conexiones MSB (Metrohm Serial Bus, cadena tipo margarita «daisy chain»)
Conexión para cambiador de muestras	1 cambiador de muestras a través de USB
Conexión de balanzas, impresora, PC, teclado PC, lector de código de barras y/o Lab Link	A través de 2 USB Slave Ports, Box RS 232 USB (opcional)
Adaptador USB Bluetooth para la comunicación con impresora, balanza...	Opcional (Touch Control 840)
Puerto para tarjetas de memoria PCMCIA para métodos, resultados, Keycard (identificación de usuario), copias de seguridad	•
Tarjeta CompactFlash de 8 MB con muchos métodos de aplicación	•
Termosonda	Pt 1000 o NTC
Indicación de curvas «live» en la pantalla LCD gráfica de 90 mm x 120 mm de la Touch Control o la pantalla del PC	•
STAT Valoración a un punto de regulación prefijado, después, el valor medido correspondiente se mantiene constante	•
SET Valoración a puntos finales prefijados con acondicionamiento automático	•
DOS Dosificación controlada con supervisión del pH/U y de la temperatura	•
MEAS Modo de medida para pH, U/mV, T/°C	Resolución: 0,001 pH; 0,1 mV; 0,1 °C, intervalo de medida: 100 ms
CAL Calibración con reconocimiento automático de tampones	•
Dosificación en tándem: dos buretas permiten una dosificación o una valoración sin interrupción	•
Segundo sistema de medida, separado galvánicamente, para pH, U/mV, T/°C	Opcional
El desarrollo de la determinación puede ser programado por el usuario según sus necesidades	•
Memoria de métodos, de datos de muestras y de resultados, base de datos	•
Idiomas de diálogo: español, inglés, francés, alemán	•
Amplias funciones GLP/GMP; cumple con la norma FDA 21 CFR Part 11	•
Vigilancia de los valores límite de resultados	•
Control de acceso por login y protección por contraseña; firma electrónica	•
Manejo de líquidos con instrucciones de dosificación ampliadas del Dosino 800	•

Cross-flow filters for wine - Flavy FX



Cross-flow filters Flavy FX 2 to FX 10



Designed to filter any type of wines, the range of FX filters is the best solution to meet the requirements of small and larger wineries.

Flavy	Number of modules	Filtration surface (m ²)	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
FX2	2	24	1568	861	1834
FX3	3	36	1836	861	1834
FX5	5	60	2922	990	1939
FX6	6	72	2922	990	1939
FX8	8	96	2966	1200	2120
FX10	10	120	3242	1200	2120

Flow rate : up to 10 hl/hl per module according to wines types and operating conditions

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.



Filtros desde 2 M2 hasta 50 M2.

El filtro está proyectado para realizar las siguientes fases del ciclo de filtración:

- formación de la pre-capa,
- separación de sustancias sólidas contenidas en el líquido a filtrar, con formación de torta
- secado de torta

- corte y descarga de la torta
- descargue del filtrado.

A) Partes básicas del filtro

- Tambor construido en Acero Inox AISI 304, velocidad de rotación variable controlada por un variador electrónico (inverter). Pantalla de regulación y visualización del número de revoluciones instalada en el mismo motor.
- Rejillas de desagüe construidas en Polipropileno.
- Malla de filtración en Acero Inox AISI 316, tipo reps, con porosidad de 65 μ .
- Colector del filtrado con dispositivo rotativo.
- Bañera con incorporación del dispositivo de corte de torta por medio de una cuchilla en Acero Inox AISI 430, con sistema de avance automático regulado por un motor.
- Completa de canal de distribución suspensión de pre-capa.
- Conexión adicional de alimentación, colocada en el fondo de la bañera (tina) para alimentar los residuos y para la recuperación del agua.
- Un dispositivo manual permite la inclinación de la bañera de manera que sea posible elegir el porcentaje de sumersión del tambor según la cantidad de residuos que debe ser filtrada. Gracias a este dispositivo la cantidad de líquido residual al final de la filtración es muy baja.
- Este sistema permite de obtener el mejor rendimiento del área de filtración.

- La automatización del filtro es garantizada por unos sondas de nivel colocados en la bañera y por una serie de válvulas neumáticas.
- Tubo con toberas para el lavado del tambor a la final del ciclo.

B) Accesorios de vacío y de separación del filtrado

- Receptor del filtrado en acero inoxidable.
- Dispositivo anti-espuma.
- Una bomba de vacío anular con sistema de recuperación de agua y silenciador
- Una bomba centrífuga de extracción del filtrado, construida en Acero Inox AISI 316.
- Bastidor construido en Acero Inox continente todos los elementos anteriormente descritos.

C) Accesorios para la fase de pre-capa

- Tanque, equipado con agitador, para la preparación de la suspensión del coadyuvante del filtro.

D) Accesorios eléctricos

- Armario eléctrico de control, construido en Acero Inox AISI 304, clase IP55, instalado en el filtro.
- Completo de conexiones eléctricas.

E) Bomba de alimentación pre-capa

- De tipo centrífugo, construida en Acero Inox AISI 316, con rotor abierto, instalada en el filtro para la preparación de la pre-capa.

F) Bomba alimentación producto

De tipo centrífugo, construida en Acero Inox AISI 304, y con rotor en goma (NBR), instalada en el filtro.

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Documento B:

Planos

Facultad de Ciencias. Universidad de Cádiz.

Título de Ingeniero Químico. Proyecto Final de Carrera.

ÍNDICE

PLANO 1: SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

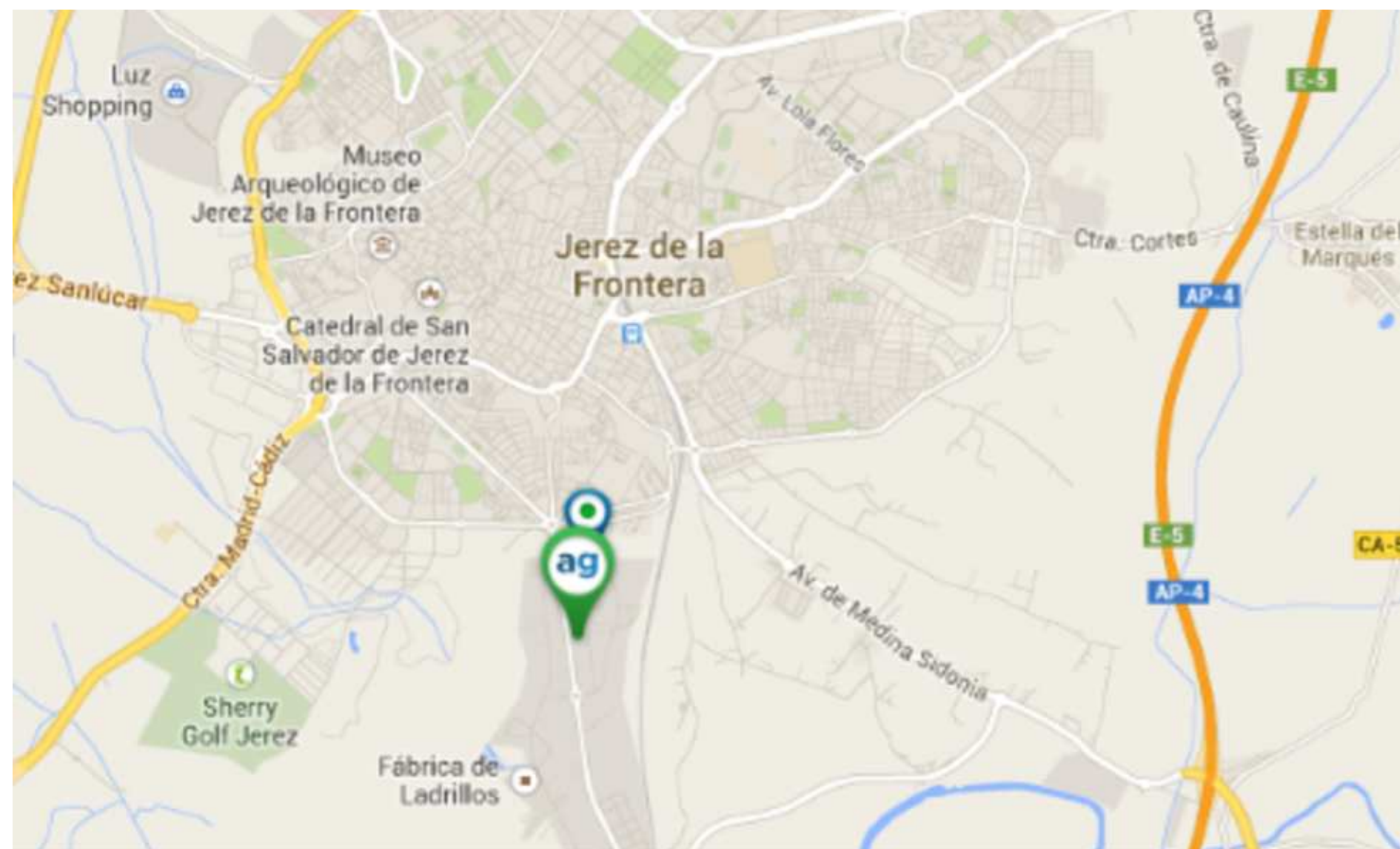
PLANO 2: PLANO DE PLANTA

PLANO 3: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

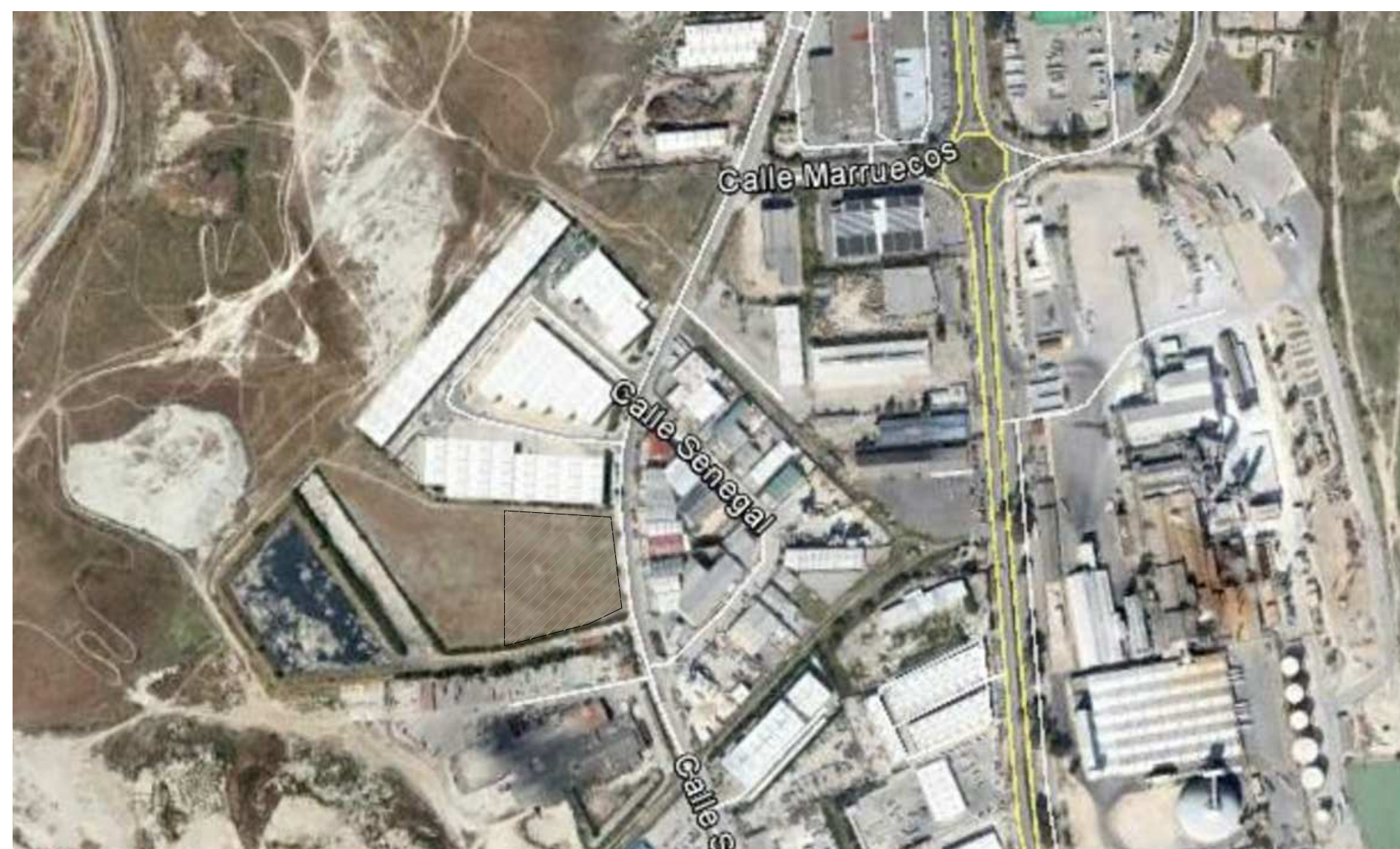
PLANO 4: FERMENTADORES

PLANO 5: TANQUES DE ALMACENAMIENTO 1

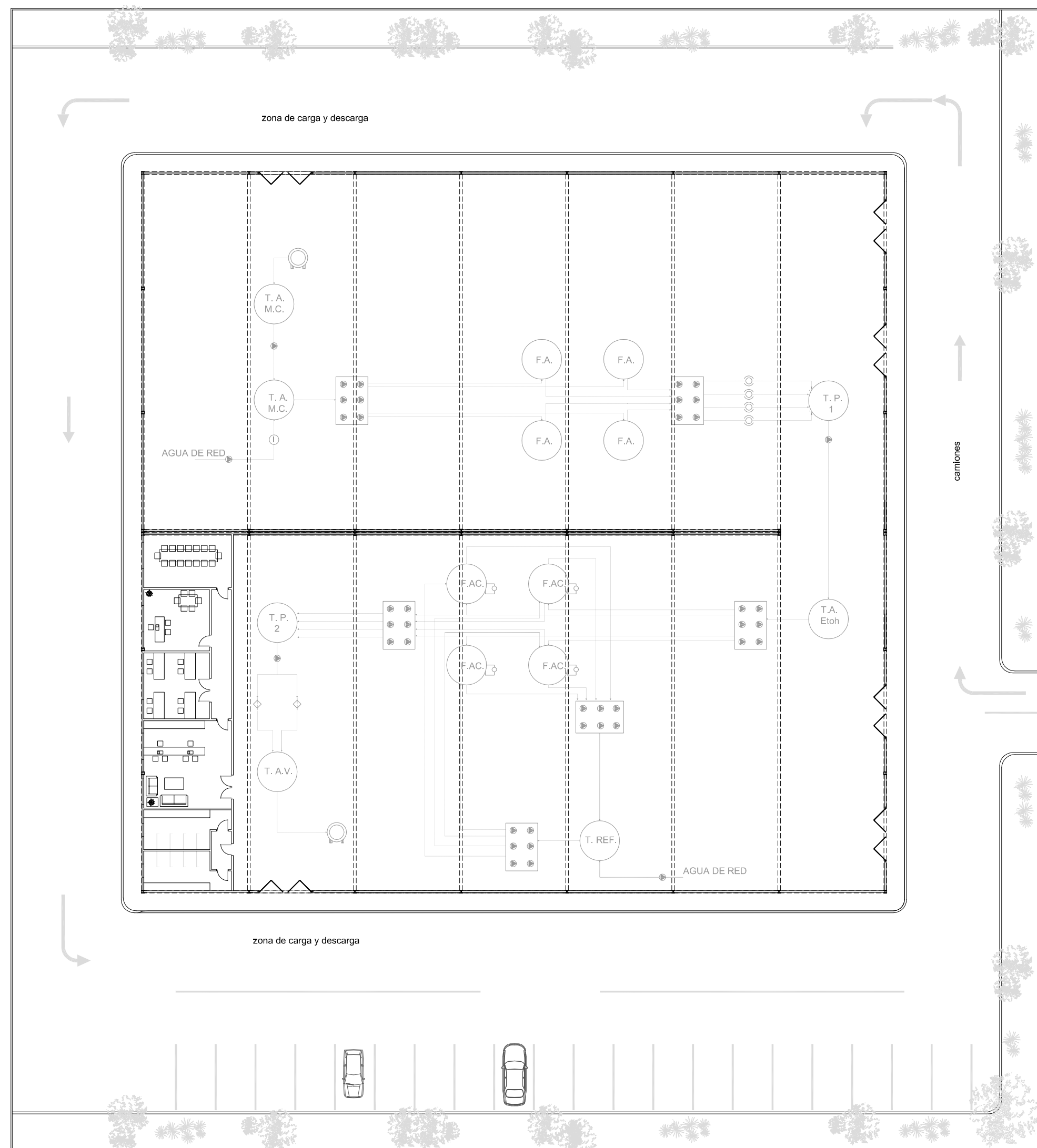
PLANO 6: TANQUES DE ALMACENAMIENTO 2




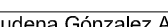
SITUACIÓN 1/5000

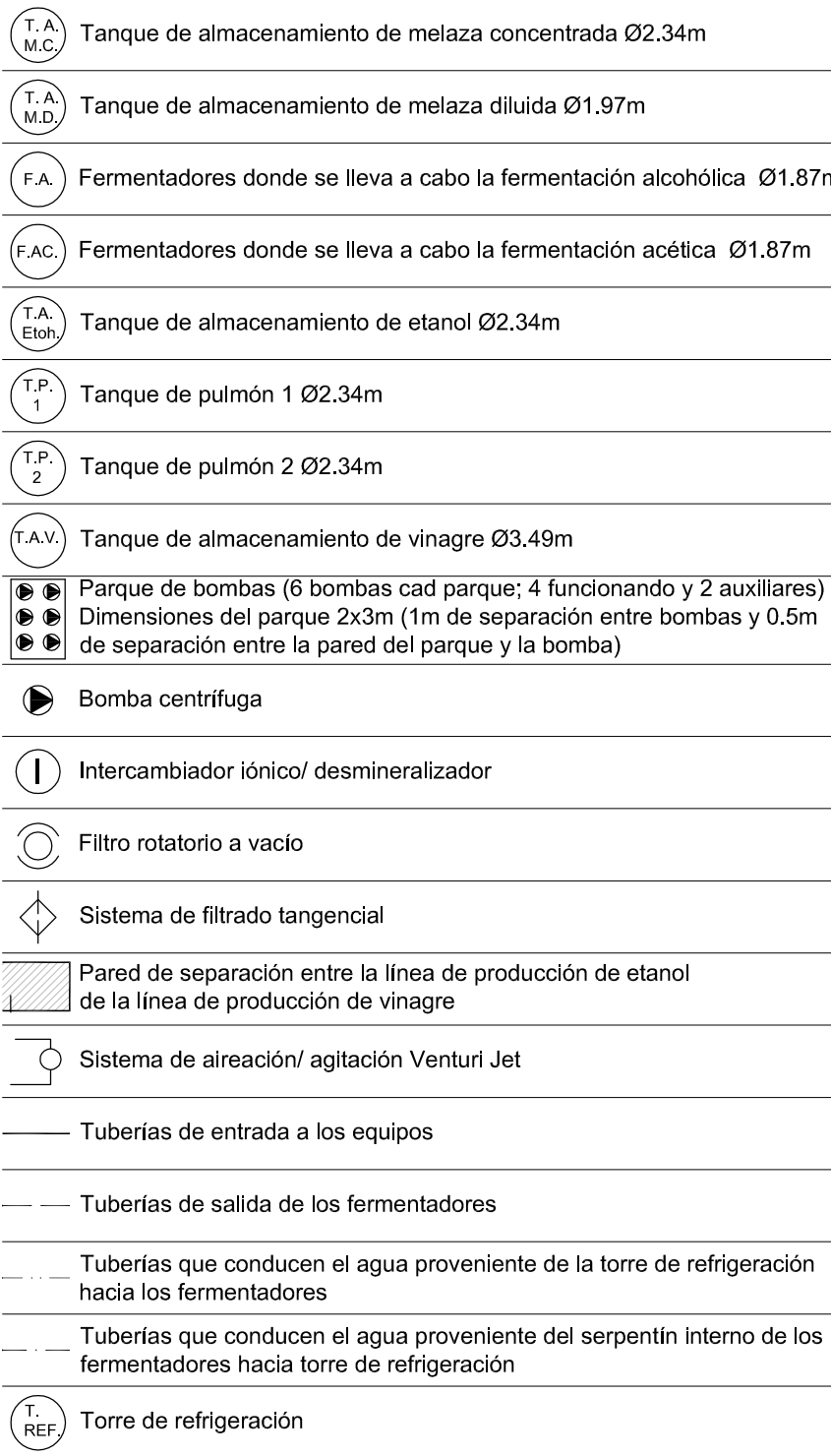


SITUACIÓN 1/2000



EMPLAZAMIENTO 1/300

<p align="center">DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE VINAGRE A PARTIR DE MELAZAS DE REMOLACHA AZUCARERA</p>			Nº:
SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	Escala:	 <p align="center">UCA Universidad de Cádiz</p>	<p align="center">1</p>
	Fecha: DICIEMBRE/2014		
Autores: Almudena González Alba 			



DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE VINAGRE A PARTIR DE MELAZAS DE REMOLACHA AZUCARERA

PLANO DE PLANTA

Escalas:

Fecha:

DICIEMBRE/2014

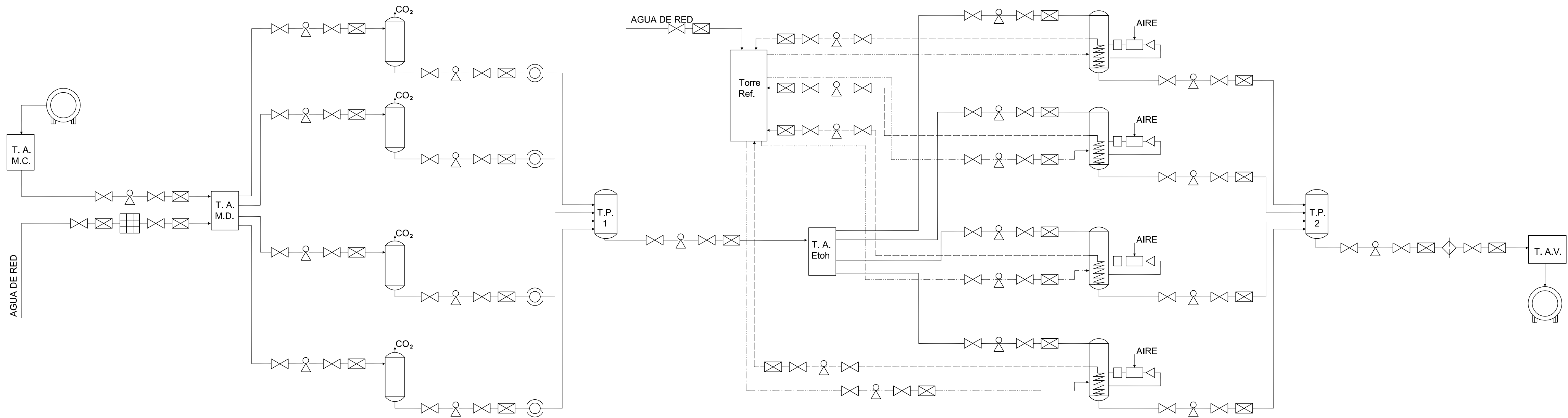
Autores

Almudena González Alba



Nº:

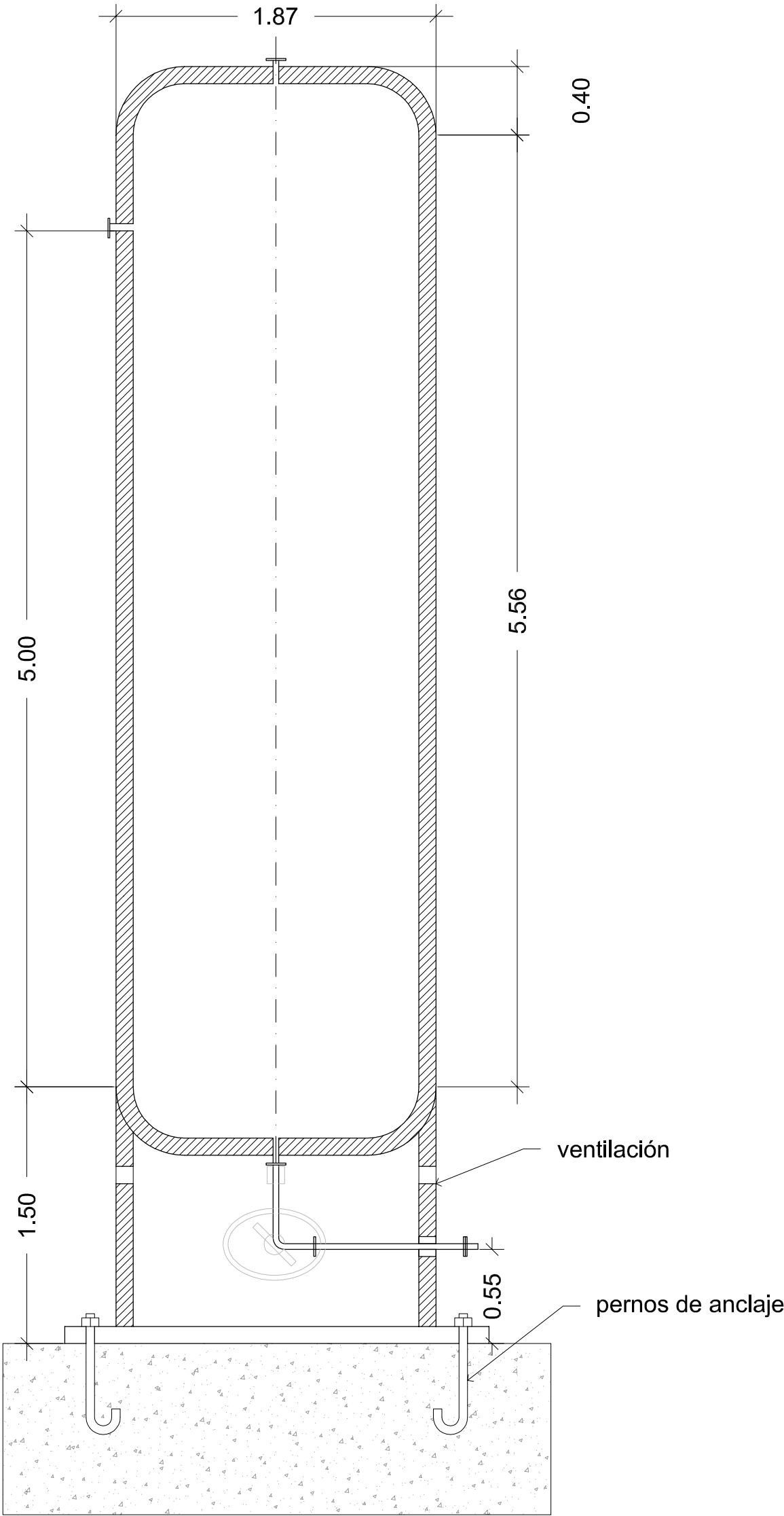
2



- SUMINISTRO MATERIA PRIMA/ PRODUCTO
- VÁLVULA DE REGULACIÓN/ CORTE DE FLUJO
- VÁLVULA DE RETENCIÓN
- FILTRO ROTATORIO A VACÍO
- BOMBA CENTRIFUGA
- INTERCAMBIADOR IÓNICO/ DESMINERALIZADOR

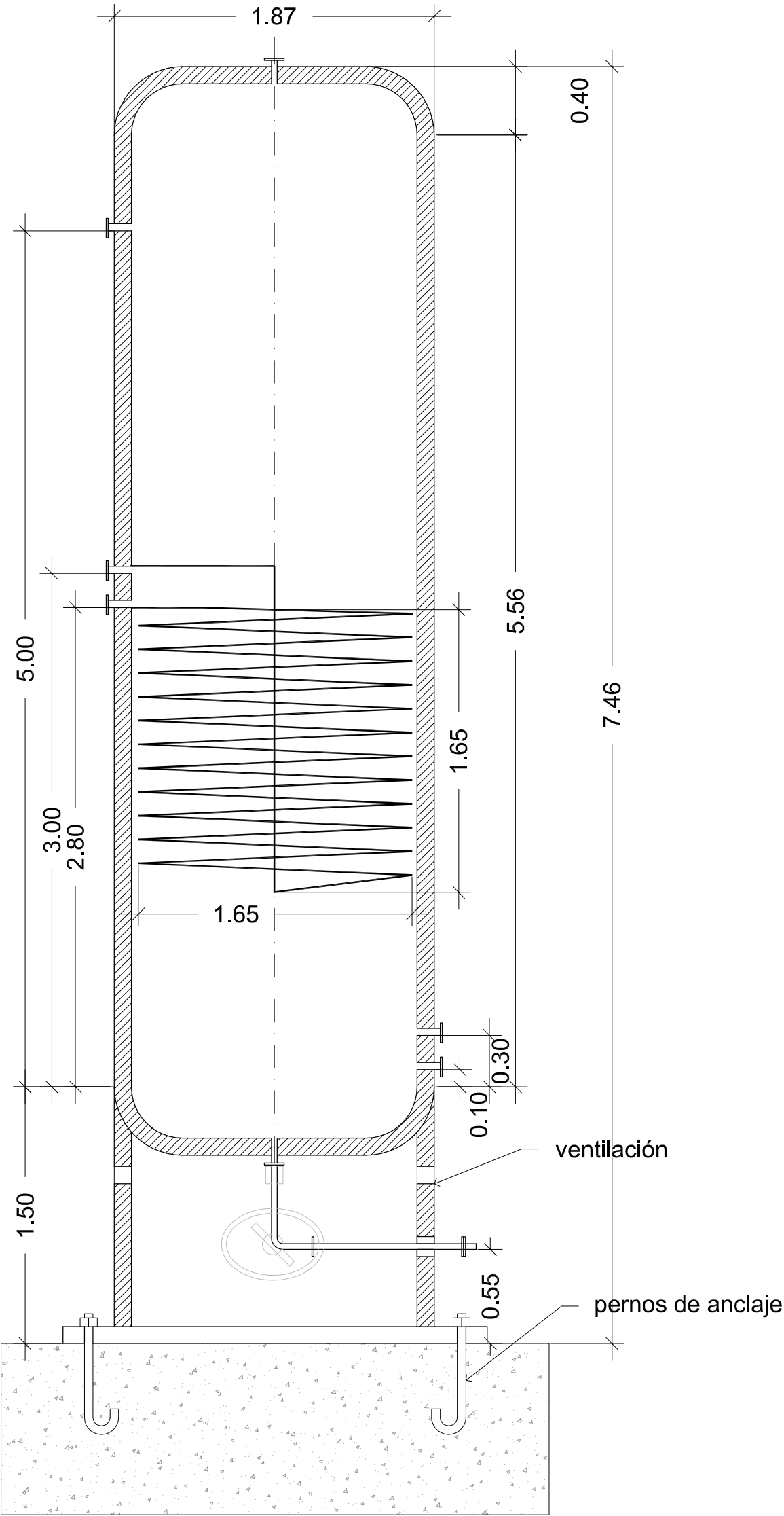
- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE MELAZA CONCENTRADA
- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE MELAZA DILUIDA
- FERMENTADOR ALCOHÓLICO
- FERMENTADOR ACÉTICO (incluye serpentín interno)
- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE VINAGRE
- TANQUE PULMÓN 1

- TANQUE PULMÓN 2
- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ETANOL
- AIREADOR/ AGITADOR VENTURI JET
- SISTEMA DE FILTRACIÓN TANGENCIAL
- TORRE DE REFRIGERACIÓN
- AGUA proveniente del serpentín hacia la torre de refrigeración
- AGUA proveniente de la torre de refrigeración hacia el serpentín



FERMENTADOR ALCOHÓLICO

El faldón lleva incorporado 4 aperturas de ventilación (Ø4 pulgadas = 10.16cm) en la parte superior del faldón.
El faldón lleva una apertura de acceso (Ø20 pulgadas =50.8cm)

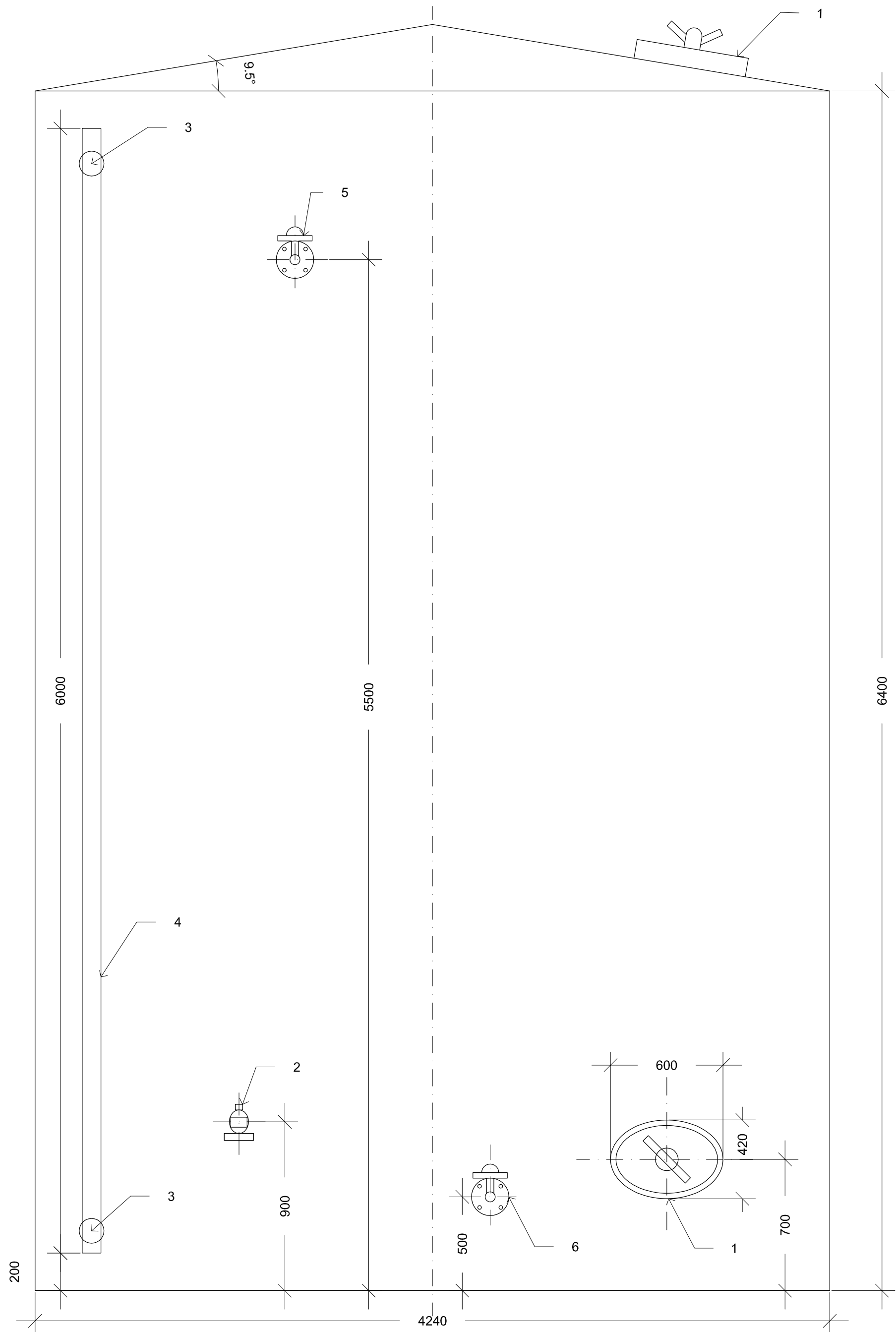


FERMENTADOR ACÉTICO

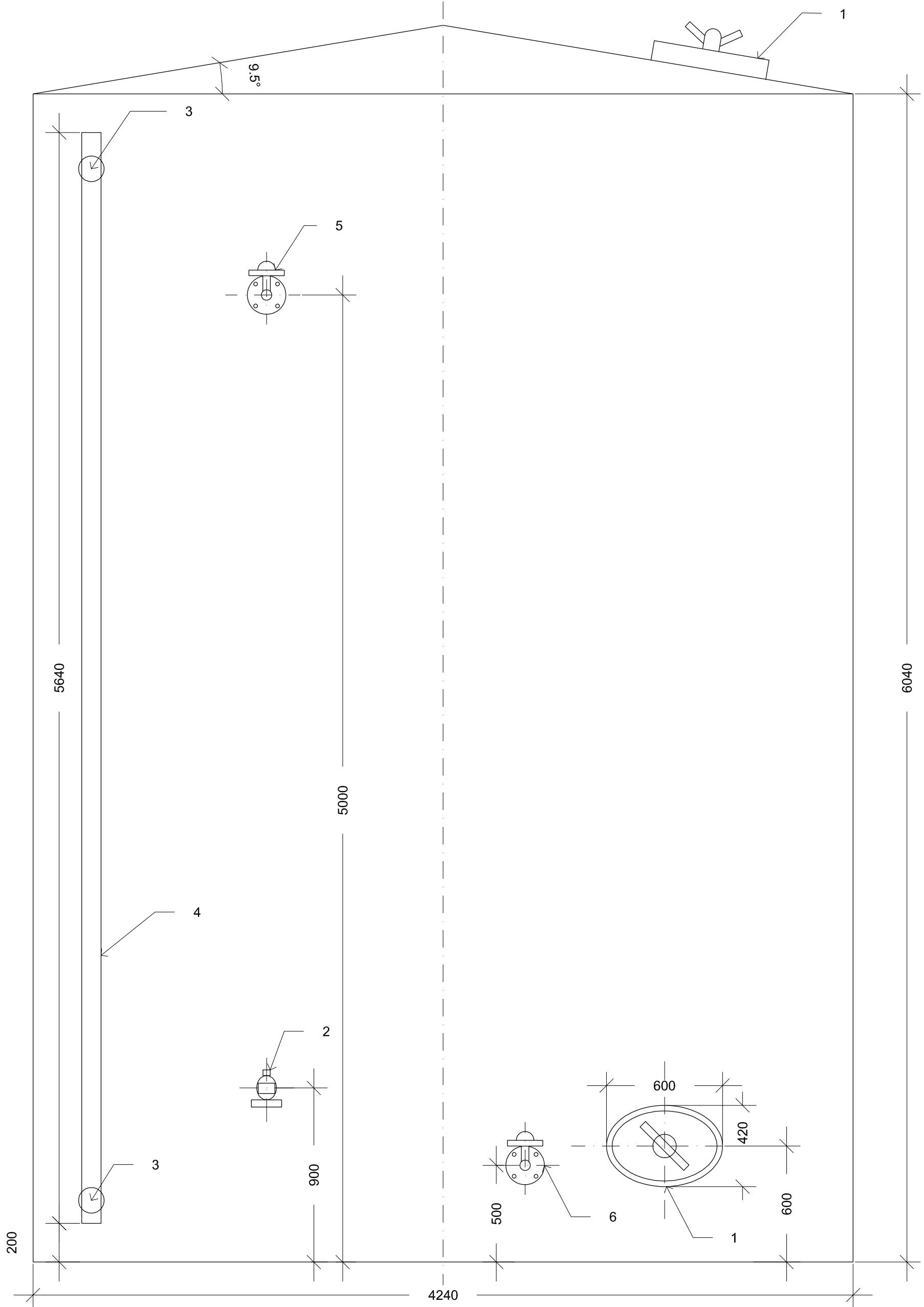
El faldón lleva incorporado 4 aperturas de ventilación (Ø4 pulgadas = 10.16cm) en la parte superior del faldón.
El faldón lleva una apertura de acceso (Ø20 pulgadas =50.8cm)



TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE MELAZA CONCENTRADA



TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE MELAZA DILUIDA



- 1 BOCA HOMBRE
- 2 LLAVE TOMA MUESTRAS
- 3 GRIFOS DE NIVEL
- 4 TUBO INDICADOR NIVEL
- 5 CONEXIÓN DE ENTRADA
- 6 CONEXIÓN SALIDA

DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE VINAGRE A PARTIR DE MELAZAS DE REMOLACHA AZUCARERA

TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Escala: 1/20

Fecha: DICIEMBRE/2014

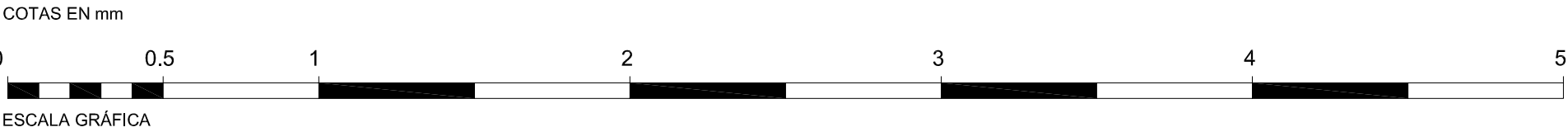
Autores: Almudena González Alba

Almudena

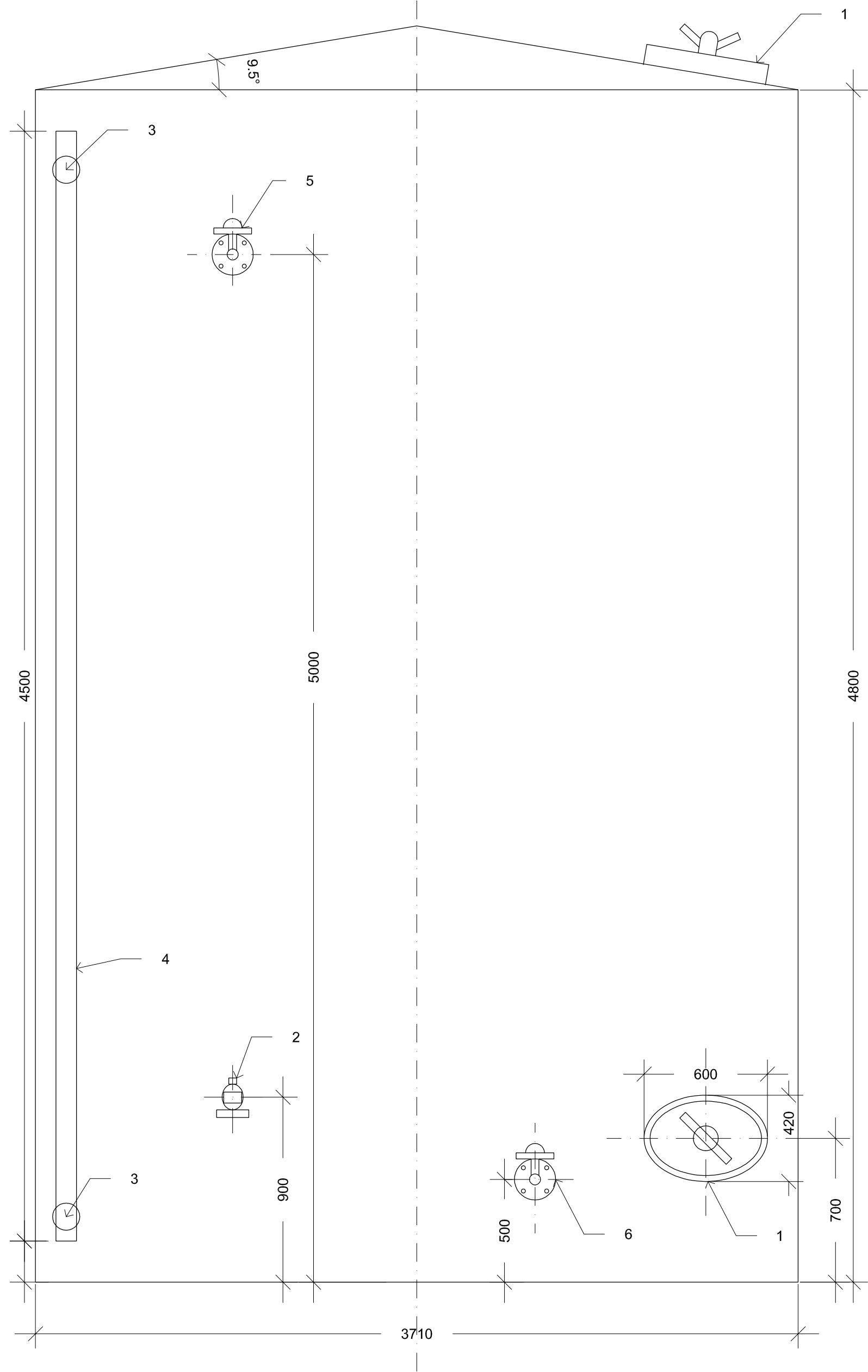


Nº:

5

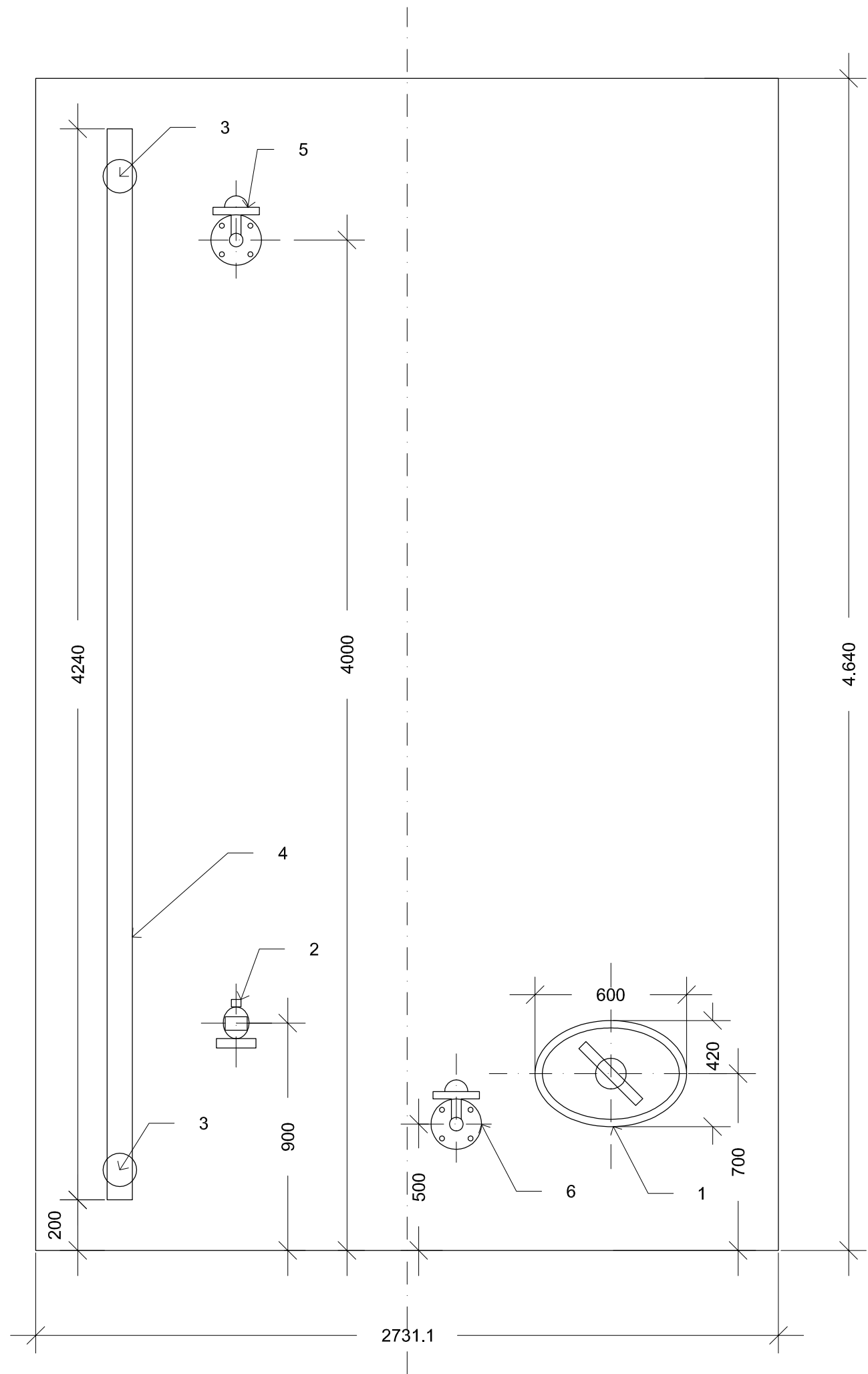


TANQUE DE ALMACENAMIENTO VINAGRE FILTRADO



- | | | | |
|---|---------------------|---|----------------------|
| 1 | BOCA HOMBRE | 4 | TUBO INDICADOR NIVEL |
| 2 | LLAVE TOMA MUESTRAS | 5 | CONEXIÓN DE ENTRADA |
| 3 | GRIFOS DE NIVEL | 6 | CONEXIÓN SALIDA |

TANQUE DE ALMACENAMIENTO PULMÓN Y ETANOL



COTAS EN mm

ESCALA GRÁFICA



DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE VINAGRE A PARTIR DE MELAZAS DE REMOLACHA AZUCARERA

TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Escala: 1/20

Fecha: DICIEMBRE/2014

Autores: Almudena González Alba



Nº:

6

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Documento C:

Pliego de Condiciones

Facultad de Ciencias. Universidad de Cádiz.

Título de Ingeniero Químico. Proyecto Final de Carrera.

Almudena González Alba
Diciembre, 2014

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: DISPOSICIONES GENERALES	5
1.1. OBJETIVO.....	5
1.2. DOCUMENTOS DEL PROYECTO QUE DEFINEN LAS OBRAS.....	5
1.3. COMPATIBILIDAD Y RELACIÓN ENTRE LOS DOCUMENTOS	6
1.4. NORMATIVA GENERAL APLICABLE	6
CAPÍTULO 2: PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.....	8
2.1. CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA	8
2.1.1. La dirección facultativa	8
2.1.2. Responsabilidades del contratista	9
2.1.3. Obligaciones y derechos del contratista	9
2.1.3.1. Representación del contratista.....	9
2.1.3.2. Presencia del contratista en la obra.....	9
2.1.3.3. Gastos de cuenta del contratista	10
2.1.3.4. Oficina en las obras	10
2.1.3.5. Libro de órdenes	10
2.1.3.6. Especificaciones insuficientes en los documentos del proyecto	11
2.1.3.7. Interpretación, aclaración y modificación en los documentos del proyecto	11
2.1.3.8. Subcontratas	11
2.1.3.9. Copias de los documentos	11
2.1.3.10. Reclamaciones ante la dirección facultativa	12
2.1.3.11. Despido del contratista	12
2.1.4. Obras y ejecución de las mismas	12
2.1.4.1. Replanteo.....	12
2.1.4.2. Calendario de trabajo	12
2.1.4.3. Comienzo de los trabajos y plazos de ejecución de los mismos	13
2.1.4.4. Ampliación del proyecto debido a causas imprevistas	13
2.1.4.5. Maquinaria.....	13
2.1.4.6. Materiales y aparatos	13

2.1.4.6.1. Empleo de materiales y aparatos	14
2.1.4.6.2. Materiales y aparatos defectuosos	14
2.1.4.7. Accidentes de trabajo.....	14
2.1.4.8. Descanso en días festivos	15
2.1.4.9. Trabajos defectuosos	15
2.1.4.10. Señalización y precauciones en las obras.....	15
2.1.5. Recepción provisional	16
2.1.6. Plazo de garantías	17
2.1.7. Recepción definitiva.....	17
2.2. CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS	18
2.2.1. Garantía de cumplimiento.....	18
2.2.2. Fianzas	18
2.2.3. Penalizaciones.....	18
2.2.4. Precios	19
2.2.4.1. Precios contradictorios.....	20
2.2.4.2. Precios no señalados	20
2.2.5. Valoración y abonos de los trabajos	21
2.2.5.1. Forma de abono de las obras	21
2.2.5.2. Abono de unidades de obra ejecutadas.....	21
2.2.5.3. Relaciones valoradas y certificaciones	21
2.2.5.4. Liquidaciones parciales.....	21
2.2.5.5. Documentos finales de las obras: Liquidación general.....	21
2.2.5.6. Pagos	21
2.2.5.7. Suspensión o retraso en el ritmo de los trabajos	22
2.2.5.8. Valoración en caso de rescisión de contrato.....	22
2.2.6. Seguros	22
2.3. CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL	23
2.3.1. Normativa general de aplicación	23
2.3.2. El contrato	23
2.3.3. Licencias, permisos e impuestos.....	24
2.3.4. Causas de rescisión del contrato	24

CAPÍTULO 3: PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	26
3.1. CONDICIONES PARA LOS MATERIALES	26
3.1.1. Condiciones generales	26
3.1.2. Materiales no especificados	26
3.2. CONDICIONES PARA LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA.....	26
3.2.1. Movimiento de tierras.....	26
3.2.2. Cimentaciones	27
3.2.3. Estructuras de hormigón	27
3.3. CONDICIONES GENERALES PARA TUBERÍAS Y VÁLVULAS	27
3.4. CONDICIONES GENERALES DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES	28
3.4.1. Condiciones para los tanques de almacenamiento	28
3.4.2. Condiciones para los fermentadores y las bombas	28

CAPÍTULO 1: DISPOSICIONES GENERALES

1.1. OBJETIVO

El principal objetivo del presente pliego de condiciones es recoger y especificar las exigencias de carácter facultativo, económico y legal que han de regirse para la ejecución del Proyecto “Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera” de manera que estas condiciones queden especificadas, evitando así interpretaciones distintas de las deseadas.

1.2. DOCUMENTOS DEL PROYECTO QUE DEFINEN LAS OBRAS

Los documentos que definen las obras y que la propiedad entregue al contratista pueden ser de carácter contractual o meramente informativo.

En el presente Proyecto se encuentran los siguientes documentos:

- Documento nº 1: Memoria y Anexos
- Documento nº 2: Planos
- Documento nº 3: Pliego de Condiciones
- Documento nº 4: Presupuesto

Los documentos contractuales son aquellos que se encuentren incorporados en el contrato y sean de obligado cumplimiento, como son los Planos, Pliego de Condiciones y Presupuesto. Los documentos de carácter informativo serán, en cambio, la Memoria y sus correspondientes Anexos.

El contratista al que se le ha asignado la realización de las obras está obligado a seguir estrictamente lo descrito en el presente pliego.

1.3. COMPATIBILIDAD Y RELACIÓN ENTRE LOS DOCUMENTOS

Los documentos que se encuentran en este Proyecto son compatibles entre sí. En caso de que existiera contradicción entre los Planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo especificado en este último documento. Lo mencionado en los Planos y omitido en el Pliego de Condiciones o viceversa, deberá ser aceptado como si se hubiera expuesto en ambos documentos.

1.4. NORMATIVA GENERAL APLICABLE

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales vigentes del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (Ministerio de Fomento).
- Métodos y Normas de Ensayo del Laboratorio Central del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (Ministerio de Fomento).
- Normativa Básica (NBE) y Tecnológica (NTE) de la Edificación.
- Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE).
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 1797/2003, de 26 de diciembre, por el que se aprueba la instrucción para la recepción de cementos.

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

CAPÍTULO 2: PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

2.1. CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA

2.1.1. La dirección facultativa

La dirección facultativa de las obras y las instalaciones recaerá sobre un ingeniero técnico o superior nombrado por la propiedad en su presentación, sobre quién recaerán las funciones de dirección, control o vigilancia de las obras del presente proyecto.

Las principales labores que el ingeniero director de las obras deberá realizar son las siguientes:

- Garantizar que las obras se ejecuten estrictamente según lo aprobado en el proyecto. Además, cualquier tipo de modificación sobre el mismo deberá ser autorizada.
- Establecer las condiciones técnicas necesarias que en el presente Pliego de Condiciones se dejen a su elección.
- Resolver todas las dudas técnicas que se originen durante la ejecución de la obra y las instalaciones. Estas dudas podrán ser de interpretación de planos, condiciones de los materiales y ejecución de unidades de obra, siempre y cuando no se modifiquen las condiciones establecidas en el contrato.
- Estudiar las incidencias y los problemas surgidos en las obras que impidan el cumplimiento del contrato. También podrá aconsejar en el proceso de modificación del contrato, tramitando las propuestas que correspondan.
- Resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las obras.

- En casos de urgencia o gravedad, deberá asumir bajo su responsabilidad la dirección de determinadas operaciones o trabajos en curso.
- Acreditar al contratista las obras realizadas conforme a lo especificado en los documentos del contrato.
- Redactar la liquidación de las obras conforme a la normativa legal establecida.

2.1.2. Responsabilidades del contratista

En el proceso de ejecución de las obras contratadas, el contratista será el único responsable, no percibiendo indemnización alguna en caso de que no se lleve a cabo correctamente el proyecto.

También será responsable ante los Tribunales de Justicia de los accidentes que, por inexperiencia o descuido, pudiesen ocasionarse, ateniéndose a la legislación vigente.

2.1.3. Obligaciones y derechos del contratista

2.1.3.1. Representación del contratista

Desde el momento en que se inicien las obras, el contratista deberá designar un jefe de obras que actúe como representante suyo autorizado.

Este jefe será autorizado por el contratista para recibir notificaciones escritas o verbales emitidas por la dirección facultativa y de esta manera poder asegurar que dichas órdenes se lleven a cabo.

Cualquier cambio que el contratista realice respecto a su personal, en especial si se trata del jefe de obras, deberá comunicarlo a la dirección facultativa.

2.1.3.2. Presencia del contratista en la obra

El contratista estará presente en las obras durante la jornada legal de trabajo y acompañará también a la dirección facultativa en las visitas que se hagan a las obras. Asistirá además a las reuniones convocadas por la dirección facultativa.

2.1.3.3. Gastos de cuenta del contratista

Correrán por cuenta del contratista, a no ser que en el contrato se especifique lo contrario, los siguientes gastos:

- Gastos debidos a la puesta en campo y retirada de cualquier medio auxiliar
- Gastos de los materiales debido a su deterioro
- Gastos de limpieza en las obras
- Gastos de retirada de materiales que han sido rechazados
- Gastos debidos a la corrección de deficiencias observadas y puestas de manifiesto por las distintas pruebas y ensayos

2.1.3.4. Oficina en las obras

El contratista deberá habilitar en las obras una oficina donde se encontrará una mesa o espacio adecuado donde puedan extenderse y consultarse los planos.

Además, en la oficina deberá siempre haber una copia autorizada de los documentos del proyecto que hayan sido facilitados al contratista por la dirección facultativa y un libro de órdenes.

2.1.3.5. Libro de órdenes

En dicho libro irán redactadas todas las órdenes que la dirección facultativa considere oportuno dar al contratista.

El libro de órdenes siempre estará a manos del contratista y a disposición de la dirección facultativa. Deberá tener las hojas por duplicado y será visado por el colegio profesional que corresponda.

2.1.3.6. Especificaciones insuficientes en los documentos del proyecto

Si no existiese una especificación correcta de las obras en la documentación del proyecto, no se realizarán hasta que la dirección facultativa dé las indicaciones correspondientes para su ejecución.

Deberá comunicarse a la dirección facultativa con la antelación suficiente para que pueda estudiarse el problema y así dar la solución más acertada sin que suponga un retraso en las obras.

2.1.3.7. Interpretación, aclaración y modificación de los documentos del proyecto

Cuando se lleve a cabo una interpretación, aclaración o modificación del Pliego de Condiciones o Planos, deberá comunicarse por escrito al contratista, estando obligado este a devolver los documentos originales y las copias firmados.

2.1.3.8. Subcontratas

Se permitirá subcontratar ciertos trabajos siempre y cuando la empresa subcontratada garantice un personal formado y cualificado y también asegure la seguridad al realizar los trabajos citados.

2.1.3.9. Copias de los documentos

El contratista podrá obtener copias de todos los documentos del proyecto que considere necesarios.

La dirección facultativa podrá autorizar dichas copias con su firma si así lo solicita el contratista.

Deberá siempre haber al menos una copia completa del proyecto en las obras, visada por el colegio oficial que corresponda. Las copias no se usarán como planos de obra, sino que serán de ayuda al realizar comprobaciones.

2.1.3.10. Reclamaciones ante la dirección facultativa

Si el contratista desea realizar unas reclamaciones contra las órdenes dadas por parte de la dirección facultativa, sólo podrá presentarlas a través de esta, ante la propiedad, si son de carácter económico, y de acuerdo con las condiciones establecidas en el Pliego de Condiciones correspondiente.

2.1.3.11. Despido del contratista

Se procederá al despido del contratista cuando se incumplan las instrucciones dadas por el director de las obras, cuando se ponga de manifiesto la incapacidad de realización de sus funciones y la realización de actos que entorpezcan o comprometan la marcha de las obras.

2.1.4. Obras y ejecución de las mismas

2.1.4.1. Replanteo

Antes de comenzar el desarrollo de las obras del proyecto, la dirección facultativa ayudada por el personal y en presencia del contratista o su representante, procederá al replanteo de la obra y se levantará un acta de comprobación una vez se haya finalizado dicho replanteo, esta reflejará la conformidad o disconformidad del replanteo respecto a los documentos contractuales del proyecto.

Deberá incluir las referencias y datos necesarios para poder materializar las obras.

2.1.4.2. Calendario de trabajo

Una vez que se apruebe el acta de comprobación del replanteo, se presentará el programa de trabajo de las obras. En el citado programa se incluirá lo siguiente:

- Fijar las clases de obras y trabajos que se realizarán en el proyecto
- Determinar las instalaciones, equipos y materiales que se utilizarán
- Programar sobre la base de los precios unitarios de adjudicación la valoración mensual y acumulada de las obras

- Representar gráficamente las distintas actividades mediante un diagrama P.E.R.T.

2.1.4.3. Comienzo de los trabajos y plazos de ejecución de los mismos

Obligatoriamente, el contratista deberá dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos, antes de que transcurran veinticuatro horas de su iniciación.

Además, los trabajos deberán quedar terminados en la fecha acordada en el acta de comprobación de replanteo.

2.1.4.4. Ampliación del proyecto debido a causas imprevistas

No se interrumpirán los trabajos por cualquier motivo imprevisto o por cualquier accidente que pueda producirse.

Si surgieran estos imprevistos, la dirección facultativa continuará con los trabajos mientras se formula o tramita el proyecto reformado.

El contratista estará obligado a realizar, junto a su personal y sus materiales, aquellas obras que sean urgentes, anticipando de momento este servicio y cuyo importe le será asignado en el presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que mutuamente decidan la dirección facultativa y el contratista.

2.1.4.5. Maquinaria

El contratista estará obligado a situar en las obras los equipos de la maquinaria que el director de la obra estime necesario para el desarrollo de los trabajos.

La maquinaria deberá encontrarse en perfectas condiciones de funcionamiento y deberá permanecer en las obras mientras estas duren. No podrán retirarse de la zona sin consentimiento del director de la obra.

2.1.4.6. Materiales y aparatos

El contratista tiene toda la libertad para proveerse de materiales y aparatos que considere necesarios, siempre que cumplan las condiciones exigidas en el contrato.

Estos materiales deben estar perfectamente adecuados para los trabajos que tendrán que desempeñar.

2.1.4.6.1. Empleo de materiales y aparatos

Antes de hacer uso de estos materiales y aparatos, deberán ser examinados y aceptados por la dirección facultativa.

El contratista depositará las muestras y modelos necesarios previamente, para poder realizarles las comprobaciones, ensayos o pruebas.

2.1.4.6.2. Materiales y aparatos defectuosos

Si los materiales y aparatos no reunieran la calidad requerida para llevar a cabo los trabajos o si estos no estuviesen preparados para ejecutar las obras, la dirección facultativa ordenará al contratista que los reemplace por otros que sí cumplan con las condiciones reflejadas en el Pliego o, a falta de estas, que cumplan con las condiciones requeridas por la dirección facultativa.

2.1.4.7. Accidentes de trabajo

En caso de que ocurriesen accidentes en el transcurso normal de los trabajos, el contratista tendrá que hacer frente a lo dispuesto en la legislación vigente, siendo en todo momento el único responsable y, en ningún concepto, afectará a la propiedad por responsabilidades en cualquier aspecto.

El contratista deberá adoptar todas las medidas de seguridad necesarias para evitar así accidentes en las obras.

En el caso de que se ocasionasen accidentes o perjuicios de cualquier género que, por no cumplir el contratista lo legislado sobre la materia, será este el único responsable, ya que se ha considerado que en los precios contratados se encuentran incluidos todos los gastos para cumplir debidamente estas disposiciones legales.

Es por tanto que, recaerá sobre la cuenta del contratista el abono de las indemnizaciones a quien y cuando corresponda, de todos los daños ocasionados en la ejecución de las obras.

2.1.4.8. Descanso en días festivos

Se cumplirá puntualmente el descanso en días festivos, tal y como señalen las disposiciones legales vigentes.

Además, en caso de que fuese necesario trabajar en días festivos, se procederá tal y como describen dichas disposiciones legales.

2.1.4.9. Trabajos defectuosos

El contratista debe usar los materiales que cumplan con las condiciones exigidas por el Pliego o con las impuestas por la dirección facultativa y, realizará cada uno de los trabajos que se han contratado. Es por esto que el contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos contratados hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la instalación, ya sea por los defectos o mala calidad que presenten los materiales o por la mala ejecución de los trabajos.

En consecuencia, cuando la dirección facultativa adviertan de trabajos defectuosos o materiales que no reúnan la calidad requerida para llevar a cabo estos trabajos, podrá decidir que las partes defectuosas sean sustituidas de acuerdo con lo contratado.

2.1.4.10. Señalización y precauciones en las obras

El contratista deberá señalizar a su costa, las obras que se hayan contratado. Estas se ejecutarán de manera que el tráfico ajeno a las mismas, encuentre en todo momento un paso en buenas condiciones de viabilidad y seguridad.

En cuanto a las precauciones, deberán tomarse medidas en presencia de lluvia sobre las obras y también sobre incendios que pudieran ocasionarse.

- **Lluvia**

Las obras dispondrán de vías de drenaje para evitar que se acumule el agua procedente de la lluvia. Se instalarán cunetas y desagües para desalojar esta agua.

También se protegerá a los equipos que no se encuentren desembalados, instalado cubiertas y facilitando protectores adecuados para su protección.

- Incendios

Se adoptarán las medidas necesarias y requeridas por las disposiciones legales vigentes para proteger las obras de cualquier incendio que pueda originarse.

El contratista será el responsable de evitar la propagación de los fuegos que se requieran para ejecutar los trabajos, así como de los daños que puedan ocasionar.

Igualmente, el contratista podrá exigir que un técnico de seguridad especializado y competente, elegido por la dirección facultativa, le asesore en todos los casos que crea conveniente.

2.1.5. Recepción provisional

Una vez terminado el plazo de ejecución de las obras y puesta en servicio, se pasará a proceder a la recepción provisional de estas, siendo necesaria la asistencia de la dirección facultativa y del contratista.

Se realizarán todas las pruebas que la dirección considere oportunas para poder cumplir con lo especificado en el Pliego.

Si las obras están en buen estado y se han ejecutado debidamente, se darán por recibidas provisionalmente, levantándose el acta de recepción provisional de las obras, en donde aparecerán la fecha y las condiciones de recepción de las mismas.

Este documento se encontrará firmado por el director de la obra, el propietario y el contratista. El plazo de garantía señalado en la obra comenzará a correr desde la fecha de recepción provisional.

Si las obras no se encuentran en buen estado para ser recibidas, se hará constar en el acta especificando las premisas que la dirección facultativa debe señalar al contratista para arreglar los defectos observados, fijando un plazo para remediarlo, a cargo del contratista.

Una vez finalizado este plazo, se realizará de nuevo un reconocimiento en las mismas condiciones, para así poder proceder a la recepción provisional de la obra.

Si en este último reconocimiento no se ha observado el arreglo de los desperfectos, la dirección facultativa podrá encargar a otra entidad que solucione estos daños, con cargo a la fianza depositada por el contratista.

2.1.6. Plazo de garantías

El plazo de garantía será de un año, contando desde la fecha en que se haya verificado la recepción provisional de las obras. Durante este plazo, la conservación y los desperfectos de la obra quedarán a cargo del contratista.

En consecuencia, si se observaran daños e imperfecciones antes de efectuarse la recepción definitiva de las obras, se exigirá al contratista que demuela, reconstruya o repare, de su cuenta, las partes defectuosas.

2.1.7. Recepción definitiva

Una vez finalice el plazo de garantías, se procederá a realizar la recepción definitiva de las obras, una vez que se haya realizado el reconocimiento de estas y en el supuesto de que todas se encuentren en perfectas condiciones.

Una vez se proceda a la recepción definitiva, inmediatamente se realizará su liquidación y se procederá a la resolución de la fianza de la que se detraerán las sanciones o cargos que procedan, conforme a lo establecido en el Pliego de Condiciones.

Si las obras no se encontraran en buen estado para que se realice la recepción definitiva, se procederá de igual manera que con la recepción provisional. En este punto, el contratista no tendrá derecho alguno a percibir cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantías.

2.2. CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS

2.2.1. Garantía de cumplimiento

La dirección facultativa podrá exigir al contratista la presentación de referencias, al objeto de cerciorarse de si este reúne las condiciones requeridas para el perfecto cumplimiento del contrato. Estas referencias serán presentadas por el contratista antes de la formalización del contrato.

2.2.2. Fianzas

El contratista abonará una fianza del 5% del presupuesto de las obras adjudicadas, de manera que se asegure el cumplimiento de lo contratado. Podrá abonar la fianza en metálico o con aval bancario.

Si el contratista se negase a hacer por cuenta propia los trabajos precisos para ultimar el montaje de las instalaciones en las condiciones contratadas, el ingeniero director, en nombre y representación del propietario de las obras, ordenará ejecutar a un tercero, abonando su importe con la fianza depositada por el contratista, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el propietario.

La fianza retenida será devuelta al contratista en un plazo que no excederá de treinta días una vez firmada el acta de recepción definitiva de las obras.

2.2.3. Penalizaciones

El contratista deberá abonar una cantidad de dinero en concepto de indemnización debido a causas de retraso no justificado, en el plazo de terminación de los trabajos contratados.

También deberá especificarse la cuantía y las condiciones de bonificación en beneficio del contratista, debidas a adelantos en la ejecución de la obra.

El importe que deberá abonar el contratista será la suma de daños materiales causados por imposibilidad de ocupación del inmueble, debidamente justificados.

Así mismo, no se considerarán causa de penalización, los retrasos en la ejecución de los trabajos debido a:

- Daños producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de río superiores a las que sean de preveer en el país.
- Daños producidos por terremotos y maremotos.
- Incendios causados por tormentas eléctricas.
- Destrozos causados violentamente a mano armada, debido a robos y vandalismo.

2.2.4. Precios

El contratista presentará precios unitarios de todas las partidas que figuran en el estado de mediciones que se le entreguen dentro de los quince días siguientes a la adjudicación de las obras.

La no presentación de los precios supone la aceptación de los precios descompuestos preparados por la dirección facultativa.

Los precios unitarios tienen valor contractual y se aplicarán a las posibles variaciones que pudieran sobrevenir.

El valor de los precios de las distintas unidades es la suma de los costes directos, costes indirectos, gastos generales y beneficio industrial.

- Costes directos: mano de obra, materiales, equipos y sistemas técnicos de seguridad y salud, gastos de personal, combustible, energía, etc. Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos anteriormente citados.
- Costes indirectos: gastos de instalación de oficinas en las obras, comunicaciones, talleres, pabellones para obreros, laboratorios, seguros, etc., personal técnico y administrativo, gastos imprevistos.

- Gastos generales: gastos generales de la empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la administración.
- Beneficio industrial: supone un porcentaje de las anteriores partidas. Este porcentaje viene descrito en el documento “Presupuesto” del presente proyecto.
- Precio de ejecución material: resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos a excepción del beneficio industrial.
- Precio de ejecución por contrata: suma de los costes directos, indirectos, gastos generales y beneficio industrial. El I.V.A. se aplica sobre esta suma pero no integra este precio.

2.2.4.1. Precios contradictorios

Los precios de las unidades de obra, materiales, mano de obra, que no aparezcan entre los precios contratados, se fijarán contradictoriamente entre la dirección facultativa y el contratista.

El contratista presentará por escrito, con su firma, el precio que a su juicio, deberá aplicarse a la nueva unidad de obra. Por otro lado, el director de obra fijará el precio que, a su entender, debe aplicarse a esta unidad. Si ambos coinciden, se levantará un acta de avenencia por parte del director de la obra, quedando formalizado el precio contradictorio.

Si subsiste la diferencia se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del proyecto, y en segundo lugar al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

2.2.4.2. Precios no señalados

Cuando a causa de rescisión fuese preciso valorar unidades de obras incompletas cuyo precio no coincida con ninguno de los que aparezcan en el cuadro de precios, el director de obra se encargará de descomponer el trabajo hecho y compondrá el precio, sin que el contratista tenga derecho a reclamarlo.

2.2.5. Valoración y abono de los trabajos

2.2.5.1. Forma de abono de las obras

La manera de pago será la acordada entre la propiedad y el contratista. Debe ir especificado en el contrato que hayan firmado ambos.

2.2.5.2. Abono de unidades de obra ejecutadas

El contratista deberá recibir el importe de todas las unidades de obra que haya ejecutado con sujeción a los documentos del proyecto, a las condiciones de la contrata y a las órdenes entregadas por la dirección facultativa, dentro de las cifras aprobadas en los presupuestos.

2.2.5.3. Relaciones valoradas y certificaciones

En cada una de las fechas que estipule el contrato entre propiedad y contratista, este último presentará a la dirección facultativa una relación valorada de las obras ejecutadas durante los plazos previstos.

2.2.5.4. Liquidaciones parciales

A menudo, el contratista podrá percibir una cantidad proporcional a la obra ejecutada en aquel periodo de tiempo, fijándose el alcance de cada uno de los periodos y las cantidades que ha de percibir al final de ellos.

2.2.5.5. Documentos finales de las obras: Liquidación general

Una vez finalizados los trabajos, se procederá a realizar la liquidación general. Esta la forman las mediciones y valoraciones de todas las unidades que constituyen las obras.

2.2.5.6. Pagos

El importe de los pagos corresponderá al de las certificaciones de obra expedida por la dirección facultativa y se realizarán por parte del propietario al contratista, en los plazos establecidos previamente.

2.2.5.7. Suspensión o retraso en el ritmo de los trabajos

El contratista no podrá, en ningún caso, alegar retraso en los pagos, suspender ni ejecutar a menor ritmo los trabajos. Si procediera de esta manera, el propietario tendrá el derecho de rescindir el contrato.

2.2.5.8. Valoración en caso de rescisión de contrato

Siempre que se rescinda el contrato por causas que no sean responsabilidad del contratista y no exista acuerdo, se atenderá a:

- A los precios de tasación sin aumento alguno. El propietario recibirá aquellos de medios auxiliares que aparecen en las condiciones del contrato o los que considere necesarios para finalizar las obras.
- Los medios auxiliares pasarán a ser propiedad de las obras si así lo dispone la dirección facultativa, abonando la parte correspondiente al contratista, en proporción a la cantidad de obra que quede por ejecutar según los cuadros de precios.

2.2.6. Seguros

El contratista quedará obligado a asegurar las obras contratadas durante el periodo de tiempo que duren los trabajos, hasta la recepción definitiva.

El valor del seguro será el que tengan los objetos asegurados en el contrato. En caso de siniestro, la sociedad aseguradora ingresará a cuenta a nombre de la propiedad esta cuantía, para que a cargo de ella se abone la obra que se construya y, conforme esta se vaya ejecutando.

En ningún caso, el propietario podrá disponer de esta cuantía para menesteres ajenos a los de la construcción siniestrada.

2.3. CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL

2.3.1. Normativa general de aplicación

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales vigentes del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (Ministerio de Fomento).
- Métodos y Normas de Ensayo del Laboratorio Central del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (Ministerio de Fomento).
- Normativa Básica (NBE) y Tecnológica (NTE) de la Edificación.
- Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE).
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 1797/2003, de 26 de diciembre, por el que se aprueba la instrucción para la recepción de cementos.
- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

2.3.2. El contrato

El contrato se formalizará mediante un documento privado o público según convengan las partes, promotor y contratista, y en él se especificarán las particularidades que convengan a ambos.

El contratista y el promotor firmarán previamente el presente Pliego obligándose a su cumplimiento, siendo nulas las cláusulas que se opongan o anulen disposiciones del mismo.

La ejecución de las obras se contratará por unidades de obra, ejecutadas con arreglo a los documentos del proyecto. Se admitirán subcontratas con firmas especializadas, siempre que estén dentro de los precios que fije el presupuesto del proyecto.

2.3.3. Licencias, permisos e impuestos

El contratista deberá tramitar todas las licencias, permisos e impuestos necesarios para la ejecución normal de las obras, con excepción de las correspondientes a las expropiaciones, servidumbres y servicios definidos en el contrato, corriendo el pago de los mismos por cuenta del propietario.

2.3.4. Causas de rescisión del contrato

Como causas de rescisión del contrato se consideran las siguientes:

- La muerte o incapacitación del contratista
- La quiebra del contratista

En los casos anteriores, si los herederos ofrecieran llevar a cabo las obras bajo lo estipulado en el contrato, el propietario tendrá el derecho de admitir o rechazar el ofrecimiento.

- Alteraciones del contrato por las siguientes causas:
 - Modificación del Proyecto de manera que se presenten alteraciones fundamentales, a juicio de la dirección facultativa y, siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, represente en más o menos el 40%, como mínimo.

- La suspensión de los trabajos comenzados, siempre que, por causas ajenas a la contrata, no se dé comienzo a las obras dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación, en este caso, la devolución de la fianza será automática.
- La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión exceda de un año.
- No comenzar las obras dentro del plazo acordado en el contrato.
- Abandono de los trabajos sin causa justificada.
- Mala fe en la ejecución de los trabajos.

CAPÍTULO 3: PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

3.1. CONDICIONES PARA LOS MATERIALES

3.1.1. Condiciones generales

Los materiales que se utilizarán para cada uno de los equipos quedarán libres de defectos, irregularidades, etc., que puedan dificultar la instalación o montaje de los mismos, así mismo, tampoco podrá afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso de producción, teniendo el derecho la dirección técnica de deshacerse de aquellos que a su juicio no reúnan la calidad requerida.

3.1.2. Materiales no especificados

Cualquier material que no haya sido especificado ni descrito en el proyecto y que fuera necesario utilizar en los trabajos, reunirá las condiciones que se requieran para su función, siendo fijados por el contratista las fuentes de suministro que éste estime oportunas.

En cualquier caso, el contratista notificará al director de la obra, con la suficiente antelación, los materiales que se propone utilizar, aportando las muestras y los datos necesarios para su posible aceptación, siendo el criterio de la dirección facultativa totalmente inapelable.

3.2. CONDICIONES PARA LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

3.2.1. Movimiento de tierras

Este apartado se refiere a los desmontes y terraplenes para dar al terreno la rasante de explanación, a la excavación a cielo abierto realizada con los medios manuales y/o mecánicos y a la excavación de zanjas y pozos.

Se adoptarán las condiciones generales de seguridad en el trabajo, así como las condiciones relativas a los materiales, control en la ejecución, valoración y

mantenimiento que especifican las normas tecnológicas de edificación (NTE) de acondicionamiento del terreno que corresponda (vaciados, zanjas y pozos, etc.).

3.2.2. Cimentaciones

Las secciones y cotas de profundidad serán las que la dirección facultativa señale. No se rellenarán los cimientos hasta que ésta lo ordene.

La dirección facultativa queda facultada para introducir las cimentaciones especiales o modificaciones que a su juicio considere oportuno en función de las características particulares que presente el terreno.

Se adoptarán las condiciones referentes a materiales, control, valoración, mantenimiento y seguridad especificados en las normas tecnológicas de edificación (NTE) de cimentaciones que corresponda.

3.2.3. Estructuras de hormigón

En este apartado se consideran las condiciones relativas a los materiales que componen los equipos de origen industrial, relacionados con la ejecución de las obras de hormigón en masa o armado fabricados en obra o prefabricados, así como las condiciones generales de ejecución, criterios de medición, valoración y mantenimiento.

Se regirá por lo prescrito en la Instrucción EHE para las obras de hormigón en masa o armado. De la misma manera, se adoptará lo establecido en las normas NTE-EH “Estructuras de Hormigón” y NTE-EME “Estructuras de madera. Encofrados”.

3.3. CONDICIONES GENERALES PARA TUBERÍAS Y VÁLVULAS

▪ Tuberías:

Las tuberías serán de acero inoxidable y acero al carbono y los diámetros y espesores serán los especificados en los correspondientes anexos a la memoria. Serán de sección circular, de espesor uniforme y sin costura. También estarán libres de fisuras, grietas, poros, impurezas, deformaciones o faltas de homogeneidad, así como

de otros defectos que pudieran disminuir su resistencia y apartar su comportamiento del esperado por sus características.

▪ **Válvulas:**

Las válvulas serán del tipo y características especificadas en los anexos del presente proyecto.

Al igual que ocurre con las tuberías, éstas quedarán libres de defectos, irregularidades, etc., que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

Durante su instalación se tendrá especial cuidado de alinear correctamente los extremos con la tubería en la que vayan a ser instaladas.

3.4. CONDICIONES GENERALES DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES

3.4.1. Condiciones para los tanques de almacenamiento

El material de construcción de los tanques de almacenamiento será de acero inoxidable AISI 316L. El volumen y sus respectivas características serán los especificados en los anexos correspondientes del presente proyecto.

La dirección facultativa supervisará los tanques en su recepción, comprobando su buen estado y rechazándolos en caso de observar anomalías y desperfectos que bajo su juicio considere que puedan provocar dicho rechazo.

Si desde que los tanques son recibidos desde el taller del fabricante hasta que son incluidos en la instalación hubiera pasado un tiempo razonablemente largo, serán almacenados bajo techo en un lugar seco, y se tomarán medidas para que no sufran contaminación o acumulación de suciedad, así como golpes o deterioros.

3.4.2. Condiciones para los fermentadores y las bombas

▪ **Fermentadores:**

El número de fermentadores es ocho. Cuatro de ellos llevarán a cabo el proceso de fermentación alcohólica y los otros cuatro la fermentación acética.

El material de construcción de los fermentadores será acero inoxidable AISI 316L y su volumen será de quince metros cúbicos cada uno.

La configuración de los fermentadores corresponde a un cuerpo cilíndrico central, una cabeza y un fondo de tipo torisférico Klöpper.

Además, los fermentadores acéticos incluyen un serpentín interno por donde circula agua refrigerante e irán instalados en el interior de los mismos.

Estos biorreactores deberán someterse a las siguientes pruebas:

- Prueba mecánica en los talleres del fabricante, donde se medirá la resistencia de la estructura interna para ser izada y trasladada. La prueba deberá ser efectuada por el departamento de calidad del fabricante, quedando constancia de que se ha realizado dicha prueba.
- Prueba hidráulica en los talleres del fabricante, de manera que se atienda a fugas, deformaciones y otros posibles defectos que puedan darse. Igualmente que en el caso anterior, dicha prueba deberá ser realizada por el departamento de calidad del fabricante, quedando constancia de la misma.
- Prueba mecánica e hidráulica en el emplazamiento final, de manera que puedan ser inspeccionadas por la dirección facultativa y así verificar que tanto los fermentadores como su instalación se han realizado correctamente como estipula el proyecto.

▪ **Bombas:**

Las bombas serán seleccionadas conforme a las especificaciones indicadas en la memoria, anexos y documentación técnica del presente proyecto.

Fdo: Almudena González Alba

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Documento D:

Presupuesto

Facultad de Ciencias. Universidad de Cádiz.

Título de Ingeniero Químico. Proyecto Final de Carrera.

Almudena González Alba
Diciembre, 2014

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO 2: ESTADO DE MEDICIONES	5
2.1. Presupuestos parciales	12
2.2. Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.).....	17
2.3. Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.)	18
CAPÍTULO 3: COSTES ANUALES	19
3.1. Costes de fabricación	19
3.1.1. Materia prima	19
3.1.2. Honorarios y dirección de montaje	20
3.1.3. Servicios auxiliares	20
3.2. Costes de gestión.....	21
3.2.1. Gastos comerciales	21
3.3. Coste anual neto.....	21
CAPÍTULO 4: ESTUDIO ECONÓMICO	23
4.1. Ingreso Neto Anual	23
4.2. Beneficio Bruto Anual	23
4.3. Beneficio Neto Anual	23
4.4. Rentabilidad	25
4.5. Período de amortización	25

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como objetivo determinar el presupuesto global para ejecutar el Proyecto Fin de Carrera titulado “Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera”.

Para poder realizar dicho presupuesto, debe tenerse en cuenta el coste de inmovilizado de los equipos presentes en la planta diseñada.

El coste de inmovilizado está compuesto por las siguientes partidas:

- Unidades principales del proceso
- Equipos de impulsión
- Tuberías
- Válvulas
- Accesorios
- Sistema de control

En primer lugar deberá realizarse el cálculo para estimar el Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.). Dicho presupuesto corresponde al gasto realizado en la adquisición de los equipos.

El presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.) corresponde al Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.) más el Beneficio Industrial (6% P.E.M.) y los Gastos Generales (13% P.E.M.). A la cifra obtenida habrá que añadirle el IVA (21% P.E.M.).

Posteriormente, se realizará un estudio de los costes anuales, añadiéndole los costes por fabricación y los correspondientes a gestión.

Finalmente se realizará un estudio económico de manera que se garantice la viabilidad económica del proceso diseñado. Deberán considerarse los beneficios, la rentabilidad y el periodo de amortización de la planta.

CAPÍTULO 2: ESTADO DE MEDICIONES

El estado de mediciones debe cumplir con los siguientes requerimientos básicos:

- Definir y determinar las unidades de cada partida o unidad de obra.
- Establecer el número de unidades y definir sus características, modelos, tipos y dimensiones de cada una de las partidas de obra.
- Usar el concepto de partida alzada cuando la unidad no pueda desglosarse fácilmente.
- Contener un listado completo de las partidas de obra.
- Subdividirse según las partes más significativas del Proyecto.
- Que sirva de base para realizar el presupuesto.

Teniendo en cuenta estos requisitos, a continuación se desarrollará el estado de mediciones propuesto para el presente Proyecto:

- Unidades principales del proceso
- Equipos de impulsión
- Tuberías
- Válvulas
- Accesorios
- Sistema de control

➤ Unidades principales del proceso

Descripción	Unidades
Fermentadores. Diámetro exterior 1,87 metros, diámetro interior 1,85 metros. Cabezales y fondos tipo toriesférico Klöpper. Altura de 7,46 metros (incluyendo faldón). Construidos en acero inoxidable AISI 316 L.	8
Tanque de almacenamiento de melaza concentrada. Capacidad de 90 metros cúbicos. Construido en acero al carbono SA-285 Grado C. Diámetro 4,24 metros. Altura de 6,4 metros más techo cónico.	1
Tanque de almacenamiento de melaza diluida. Capacidad de 75 metros cúbicos. Construido en acero al carbono SA-285 Grado C. Diámetro 4,24 metros. Altura de 6,04 metros más techo cónico.	1
Tanque de almacenamiento de vinagre. Capacidad de 60 metros cúbicos. Construido en acero inoxidable AISI 316L. Diámetro 3,71 metros. Altura de 5,8 metros más techo cónico.	1
Tanque de almacenamiento de etanol y tanques pulmón. Capacidad de 30 metros cúbicos. Construido en acero inoxidable AISI 316L. Diámetro 2,94 metros. Altura de 4,64 metros con techo interior flotante.	3
Intercambiador iónico. Resina iónica del fabricante DOW, modelo AMBERJET UP4000. Especial para tratamiento y purificación de aguas.	1
Torre de refrigeración. Del fabricante INDUMEC, serie AX. De circuito abierto.	1
Serpentín interno. Fabricado en acero inoxidable AISI 316L de 1,65 metros de altura.	4
Sistema de filtración tangencial. Fabricante BUCHER VASLIN, modelo FX2, compuesto por dos módulos.	2
Aireador/Agitador. Fabricante Sulzer, modelo ABS Venturi Jet.	6
Filtro rotatorio a vacío. Fabricante Termofriger, con tambor construido en acero inoxidable 304 y malla filtrante en acero inoxidable AISI 316L.	6

➤ Equipos de impulsión

Descripción	Unidades
Bomba centrífuga fabricada en acero inoxidable AISI 316L de la marca Quilinox, Serie CSA (1 1/2")	12
Bomba centrífuga fabricada en acero inoxidable AISI 316L de la marca Quilinox, Serie CSA (2 1/2")	12
Bomba centrífuga fabricada en acero inoxidable AISI 316L de la marca Quilinox, Serie CSA (3")	2
Bomba centrífuga fabricada en acero inoxidable AISI 316L de la marca Quilinox, Serie CSA (5")	2
Bomba volumétrica compuesta por lóbulos, de la marca Quilinox, SE Series, fabricada en acero inoxidable AISI 316L.	2

➤ Tuberías

Descripción	Longitud (m)
Tubería de acero al carbono SA-285 DN 1 1/4"	52
Tubería de acero al carbono SA-285 DN 1 1/2"	2
Tubería de acero inoxidable AISI 316L 1 1/4"	54
Tubería de acero inoxidable AISI 316L 2 1/2"	50
Tubería de acero inoxidable AISI 316L 3"	4
Tubería de acero inoxidable AISI 316L 5"	12

➤ Válvulas

Descripción	Unidades
Válvula de mariposa. Acero inoxidable AISI 316L. DN 2 1/2"	8
Válvula de mariposa. Acero inoxidable AISI 316L. DN 3"	2
Válvula de mariposa. Acero inoxidable AISI 316L. DN 5"	2
Válvula de mariposa. Acero al carbono SA-285 . DN 1 1/4"	4
Válvula de mariposa. Acero al carbono SA-285 . DN 1 1/2"	1
Válvula de retención. Acero inoxidable AISI 316L. DN 2 1/2"	8
Válvula de retención. Acero inoxidable AISI 316L. DN 3"	2
Válvula de retención. Acero inoxidable AISI 316L. DN 5"	1
Válvula de retención. Acero al carbono SA-285 . DN 1 1/4"	4
Válvula de retención. Acero al carbono SA-285 . DN 1 1/2"	1
Válvula de compuerta. Acero al carbono SA-285. DN 1 1/2"	1
Válvula de compuerta. Acero al carbono SA-285. DN 1 1/4"	4
Válvula de compuerta. Acero inoxidable AISI 316L. DN 1 1/4"	8
Válvula de compuerta. Acero inoxidable AISI 316L. DN 2 1/2"	8

➤ Accesorios

Descripción	Unidades
Codo 90º radio largo en acero al carbono SA-285 DN 1 1/4 "	18
Codo 90º radio largo en acero al carbono SA-285 DN 1 1/2 "	2
Codo 90º radio largo en acero inoxidable AISI 316L DN 1 1/4 "	28
Codo 90º radio largo en acero inoxidable AISI 316L DN 2 1/2 "	60
Codo 90º radio largo en acero inoxidable AISI 316L DN 3 "	6
Codo 90º radio largo en acero inoxidable AISI 316L DN 5 "	4

➤ Sistema de control

Descripción	Unidades
Sensor de temperatura, marca Kobold, modelo DTM.	4
Controlador de temperatura, marca Cole-Parmer, modelo EW-98609-60	4
Electroválvula ON/OFF, marca Cole-Parmer, modelo EW-98165-10	4
Sensor de nivel, marca Kobold, modelo NBK-R.	8
Controlador de nivel, marca Cole-Parmer, modelo LC40 con pantalla LED.	8
Electroválvula ON/OFF, marca Cole-Parmer, modelo A-01348-12	8
Sensor de oxígeno disuelto, marca Cole-Parmer, modelo P-05726-26-26.	4
Controlador de oxígeno disuelto, de la marca Cole-Parmer, modelo EW-53405-00 DO 2000 Controller.	4
Sensor de acidez y concentración, Metrohm, 842 Titrand	8
Controlador de acidez y concentración, marca Cole-Parmer, modelo EW-33120-24	8

2.1. Presupuestos parciales

En este apartado se indicarán los precios unitarios de cada uno de los equipos que forman parte del proceso.

Llegados a este punto, es importante indicar que la línea de producción diseñada se ubica dentro de una nave industrial ya construida, en el Polígono Industrial de El Portal, en Jerez de la Frontera, por lo que los costes derivados de obra civil no se considerarán en el presente presupuesto.

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

➤ Unidades principales del proceso

Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Presupuesto parcial (€)
Fermentadores. Diámetro exterior 1,87 metros, diámetro interior 1,85 metros. Cabezales y fondos tipo toriesférico Klöpper. Altura de 7,46 metros (incluyendo faldón). Construidos en acero inoxidable AISI 316 L.	8	121687,43	973499,44
Tanque de almacenamiento de melaza concentrada. Capacidad de 90 metros cúbicos. Construido en acero al carbono SA-285 Grado C. Diámetro 4,24 metros. Altura de 6,4 metros más techo cónico.	1	9774,35	9774,35
Tanque de almacenamiento de melaza diluida. Capacidad de 75 metros cúbicos. Construido en acero al carbono SA-285 Grado C. Diámetro 4,24 metros. Altura de 6,04 metros más techo cónico.	1	6211,64	6211,64
Tanque de almacenamiento de vinagre. Capacidad de 60 metros cúbicos. Construido en acero inoxidable AISI 316L. Diámetro 3,71 metros. Altura de 5,8 metros más techo cónico.	1	13640,00	13640
Tanque de almacenamiento de etanol y tanques pulmón. Capacidad de 30 metros cúbicos. Construido en acero inoxidable AISI 316L. Diámetro 2,94 metros. Altura de 4,64 metros con techo interior flotante.	3	7213,68	21641,04
Intercambiador iónico. Resina iónica del fabricante DOW, modelo AMBERJET UP4000. Especial para tratamiento y purificación de aguas.	1	4747,65	4747,65
Torre de refrigeración. Del fabricante INDUMEC, serie AX. De circuito abierto.	1	6437,10	6437,1
Serpentín interno. Fabricado en acero inoxidable AISI 316L de 1,65 metros de altura.	4	3258,98	13035,92
Sistema de filtración tangencial. Fabricante BUCHER VASLIN, modelo FX2, compuesto por dos módulos.	2	32115,42	64230,84
Aireador/Agitador. Fabricante Sulzer, modelo ABS Venturi Jet.	6	5643,38	33860,28
Filtro rotatorio a vacío. Fabricante Termofriger, con tambor construido en acero inoxidable 304 y malla filtrante en acero inoxidable AISI 316L.	6	9967,25	59803,5

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

➤ Equipos de impulsión

Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Presupuesto parcial (€)
Bomba centrífuga fabricada en acero inoxidable AISI 316L de la marca Quilinox, Serie CSA (1 1/2")	12	876,50	10518
Bomba centrífuga fabricada en acero inoxidable AISI 316L de la marca Quilinox, Serie CSA (2 1/2")	12	1515,48	18185,76
Bomba centrífuga fabricada en acero inoxidable AISI 316L de la marca Quilinox, Serie CSA (3")	2	2074,96	4149,92
Bomba centrífuga fabricada en acero inoxidable AISI 316L de la marca Quilinox, Serie CSA (5")	2	2586,43	5172,86
Bomba volumétrica compuesta por lóbulos, de la marca Quilinox, SE Series, fabricada en acero inoxidable AISI 316L.	2	1013,45	2026,9

➤ Tuberías

Descripción	Longitud (m)	Precio unitario (€/m)	Presupuesto parcial (€)
Tubería de acero al carbono SA-285 DN 1 1/4"	52	8,10	421,2
Tubería de acero al carbono SA-285 DN 1 1/2"	2	9,64	19,28
Tubería de acero inoxidable AISI 316L 1 1/4"	54	50,26	2714,04
Tubería de acero inoxidable AISI 316L 2 1/2"	50	80,27	4013,5
Tubería de acero inoxidable AISI 316L 3"	4	89,13	356,52
Tubería de acero inoxidable AISI 316L 5"	12	158,46	1901,52

➤ Válvulas

Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Presupuesto parcial (€)
Válvula de mariposa. Acero inoxidable AISI 316L. DN 2 1/2"	8	113,57	908,56
Válvula de mariposa. Acero inoxidable AISI 316L. DN 3"	2	138,02	276,04
Válvula de mariposa. Acero inoxidable AISI 316L. DN 5"	2	290,05	580,1
Válvula de mariposa. Acero al carbono SA-285 . DN 1 1/4"	4	29	116
Válvula de mariposa. Acero al carbono SA-285 . DN 1 1/2"	1	33	33
Válvula de retención. Acero inoxidable AISI 316L. DN 2 1/2"	8	176,03	1408,24
Válvula de retención. Acero inoxidable AISI 316L. DN 3"	2	297,28	594,56
Válvula de retención. Acero inoxidable AISI 316L. DN 5"	1	437,56	437,56
Válvula de retención. Acero al carbono SA-285 . DN 1 1/4"	4	32,09	128,36
Válvula de retención. Acero al carbono SA-285 . DN 1 1/2"	1	24,16	24,16
Válvula de compuerta. Acero al carbono SA-285. DN 1 1/2"	1	22,95	22,95
Válvula de compuerta. Acero al carbono SA-285. DN 1 1/4"	4	13,28	53,12
Válvula de compuerta. Acero inoxidable AISI 316L. DN 1 1/4"	8	40,05	320,4
Válvula de compuerta. Acero inoxidable AISI 316L. DN 2 1/2"	8	65,35	522,8

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

➤ Accesorios

Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Presupuesto parcial (€)
Codo 90° radio largo en acero al carbono SA-285 DN 1 1/4 "	18	28,64	515,52
Codo 90° radio largo en acero al carbono SA-285 DN 1 1/2 "	2	33,29	66,58
Codo 90° radio largo en acero inoxidable AISI 316L DN 1 1/4 "	28	70,14	1963,92
Codo 90° radio largo en acero inoxidable AISI 316L DN 2 1/2 "	60	81,50	4890
Codo 90° radio largo en acero inoxidable AISI 316L DN 3 "	6	90,15	540,9
Codo 90° radio largo en acero inoxidable AISI 316L DN 5 "	4	102,10	408,4

➤ Sistema de control

Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Presupuesto parcial (€)
Sensor de temperatura, marca Kobold, modelo DTM.	4	582	2328
Controlador de temperatura, marca Cole-Parmer, modelo EW-98609-60	4	215	860
Electroválvula ON/OFF, marca Cole-Parmer, modelo EW-98165-10	4	487	1948
Sensor de nivel, marca Kobold, modelo NBK-R.	8	3512,00	28096
Controlador de nivel, marca Cole-Parmer, modelo LC40 con pantalla LED.	8	200,00	1600
Electroválvula ON/OFF, marca Cole-Parmer, modelo A-01348-12	8	447,00	3576
Sensor de oxígeno disuelto, marca Cole-Parmer, modelo P-05726-26-26.	4	1086,00	4344
Controlador de oxígeno disuelto, de la marca Cole-Parmer, modelo EW-53405-00 DO 2000 Controller.	4	987,00	3948
Sensor de acidez y concentración, Metrohm, 842 Titrando	8	620,00	4960
Controlador de acidez y concentración, marca Cole-Parmer, modelo EW-33120-24	8	710,00	5680

2.2. Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.)

PARTIDAS	COSTES (€)
Unidades de proceso	1206881,76
Equipos de impulsión	40053,44
Tuberías	9426,06
Válvulas	5425,85
Accesorios	8385,32
Sistema de control	57340

Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.)	1327512,43
---	-------------------

Tabla P.2.2.a.: Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.)

EL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL DEL PROYECTO “Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera” ASCIENDE A LA CANTIDAD DE “UN MILLÓN TRESCIENTOS VEINTISIETE MIL QUINIENTOS DOCE EUROS CON CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS”.

2.3. Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.)

PARTIDAS	COSTES (€)
P.E.M.	1327512,43
Gastos generales (13%)	172576,62
Beneficio industrial (6%)	79650,75
I.V.A. (21%)	278777,61

Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.)	1858517,40
---	------------

Tabla P.2.3.a.: Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.)

EL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA DEL PROYECTO “Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera” ASCIENDE A LA CANTIDAD DE “UN MILLÓN OCHOCIENTOS CINCUENTA Y OCHO MIL QUINIENTOS DIECISIETE EUROS CON CUARENTA CÉNTIMOS”.

Puerto Real, Diciembre 2014

Fdo: Almudena González Alba

CAPÍTULO 3: COSTES ANUALES

La partida correspondiente a los Costes Anuales se determina conociendo los Costes de Fabricación y los Costes de Gestión, obteniéndose de esta manera los Costes de Producción de la planta.

Para conocer los Costes de Fabricación, es necesario considerar los siguientes conceptos:

- Materias primas
- Honorarios y dirección de montaje
- Servicios auxiliares

Además, dentro de los Costes de Gestión se encuentran:

- Gastos comerciales

3.1. Costes de fabricación

3.1.1. Materia prima

La materia prima que va a considerarse en el presente proyecto son las melazas de remolacha azucarera y el agua de red. A continuación se muestra una tabla con el consumo anual de dichas materias primas y su coste:

Corriente	Consumo (kg/h)	Consumo anual (t/año)	Coste unitario (€/t)	Coste anual (€/año)
Melaza de remolacha	30,6	254,84	175	44596,44
Agua de red	25554,76	7359,77	0,68	5004,64

Total partida materias primas (€)	49601,08
--	-----------------

Tabla P.3.1.1.a.: Costes de materia prima.

Es importante indicar que el consumo anual de agua de red se ha estimado teniendo en cuenta que la que recorre el serpentín interno se reutiliza volviéndola a enfriar en una torre de refrigeración, por lo que no estaría tomándose continuamente de la red, solamente se renovarían una vez al mes.

3.1.2. Honorarios y dirección de montaje

La presente partida se descompone en:

- Costes del Proyecto
- Costes de Dirección de Obra
- Costes de Gestión de compra de equipos

Y supone un 7% del Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.), por lo que este coste supondría:

Hproyecto (€)	130096,22
----------------------	-----------

3.1.3. Servicios auxiliares

Dentro de los servicios auxiliares se encuentran el agua de red empleada en el uso de la dilución de las melazas y el agua que circula a través de los serpentines y también el consumo de electricidad.

- Agua de red:

El precio del agua de red de la localidad donde se ubica la planta, Jerez de la Frontera, tiene un valor de 0,68 €/m³.

Unidad	Consumo (m3/h)	Consumo anual (m3)	Coste unitario (€/m3)	Coste anual (€/año)
T.A. Melaza diluida	0,025	208,20	0,68	141,58
Serpentín	25,55	7358,40	0,68	5003,71

Total partida agua de red (€)	5145,29
--------------------------------------	---------

- Electricidad:

A continuación se muestra el consumo eléctrico que supone el uso de los equipos de impulsión de la planta diseñada:

Unidad	Consumo (W)
Bomba centrífuga fabricada en acero inoxidable AISI 316L de la marca Quilinox,	358,92
Bomba centrífuga fabricada en acero inoxidable AISI 316L de la marca Quilinox,	511,28
Bomba centrífuga fabricada en acero inoxidable AISI 316L de la marca Quilinox,	225,06
Bomba centrífuga fabricada en acero inoxidable AISI 316L de la marca Quilinox,	532,16

Consumo total (W)	1627,42
Consumo total (kW)	1,63

Las bombas funcionarán 24 horas al día durante 347 días al año, por lo que el consumo de electricidad al día sería:

Consumo (kW·h/día)	39,06
--------------------	-------

Conociendo la tarifa de electricidad en España en febrero de 2014 (0,1241 €/kW·h) y los días en que la planta estará en funcionamiento, además del consumo (kW·h/día) hallado anteriormente, puede calcularse el consumo de electricidad anual:

$$39,06 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{día}} \cdot 0,1241 \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot 347 \frac{\text{día}}{\text{año}} = 1682,03 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Por tanto, los Costes de Fabricación ascienden a la cantidad de:

Costes de fabricación (€)	186524,62
---------------------------	-----------

3.2. Costes de gestión

3.2.1. Gastos comerciales

Se considera que los gastos comerciales son un 4% de los Costes de Fabricación, por lo que se obtiene:

Gastos Comerciales (€)	7460,98
------------------------	---------

3.3. Coste anual neto

Es la suma de los Costes de Fabricación y de Gestión, dando lugar a los Costes de Producción:

Diseño de una planta de producción de vinagre a partir de melazas de remolacha azucarera.

Costes de Producción (€)	193985,61
---------------------------------	-----------

A continuación, en las siguientes tablas, se muestran los costes globales de todas las partidas consideradas:

Inmovilizado	
Concepto	Coste (€)
Unidades principales	1206881,76
Equipos de impulsión	40053,44
Tuberías	9426,06
Válvulas	5425,85
Accesorios	8385,32
Sistema de control	57340

Costes de fabricación	
Concepto	Coste (€)
Materia prima	49601,08
Honorarios y dir. Montaje	130096,22
Servicios auxiliares	6827,32

Costes de gestión	
Concepto	Coste (€)
Gastos comerciales	7460,98

Tablas P.3.3.a.: Resumen de costes globales.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO ECONÓMICO

4.1. Ingreso Neto Anual

Los beneficios obtenidos en el proceso diseñado vendrán de la venta de vinagre de 10º producido.

La producción anual de vinagre es de 1249200 litros. El precio del vinagre de alcohol de 10º a granel en 2014 es de 0,75 €/L, suponiendo un beneficio anual de:

$$V = p \cdot q \quad [\text{Ec. P.4.1.a.}]$$

Siendo:

- V: beneficio anual por la venta de vinagre, €/año.
- p: precio de venta del vinagre de 10º a granel, €/L.
- q: volumen de producción, L/año.

Sustituyendo los datos anteriores en la ecuación [Ec. P.4.1.a.] puede obtenerse el beneficio anual adquirido por la producción de vinagre:

$$V_{\text{vinagre}} = 0,75 \frac{\text{€}}{\text{L}} \cdot 1249200 \frac{\text{L}}{\text{año}} = 936900 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

4.2. Beneficio Bruto Anual

Una vez que se conocen el gasto neto anual y el ingreso neto anual, puede hallarse el beneficio bruto anual, a través de la siguiente expresión:

$$R = \text{Ingreso Neto Anual} - \text{Coste Neto Anual} \quad [\text{Ec. P.4.2.a.}]$$

Por lo que se obtiene el siguiente beneficio bruto anual:

$$R = 936900 \frac{\text{€}}{\text{año}} - 193985,61 \frac{\text{€}}{\text{año}} = 742914,39 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

4.3. Beneficio Neto Anual

El Beneficio Neto Anual puede calcularse a través del Beneficio Bruto Anual, R, una vez se han deducido los impuestos, mediante la siguiente ecuación:

$$P = R - e \cdot I_f - (R - d \cdot I_f) \cdot t \quad [\text{Ec. P.4.3.a.}]$$

Siendo:

- P: Beneficio Neto Anual
- R: Beneficio Bruto Anual
- e: Factor de amortización (se calcula para saber lo recuperado de la inversión en inmovilizado)
- I_f: Valor del capital inmovilizado
- d: Factor anual de pérdida del inmovilizado
- t: impuestos

Ahora se calcularán los parámetros de la ecuación [Ec. P.4.3.a.] no conocidos:

➤ Factor de amortización, e:

Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$e = \frac{i}{e^{(i \cdot n)} - 1} \quad [\text{Ec. P.4.3.b.}]$$

Siendo:

- i: rentabilidad promedio, i = 0,11 €/año (Rudd y Watson, 1968)
- n: vida para la amortización del proyecto esperada

Normalmente, la vida esperada para la amortización se encuentra entre 5 y 10 años. Se ha considerado una vida esperada de amortización de 8 años, por lo que se obtiene:

$$e = \frac{0,11 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{e^{(0,11 \frac{\text{€}}{\text{año}} \cdot 8 \text{ años})} - 1} = 0,078 \frac{\text{€}}{\text{€} \cdot \text{año}}$$

➤ Factor anual de pérdida de valor del inmovilizado, d:

Se considera un 10% al año, es decir, 0,1 €/€·año (Rudd y Watson, 1976).

➤ Impuestos, t:

Se considera un valor de los impuestos de 0,35 €/€ recibido (Perry, et. al., 2001).

➤ Valor del capital inmovilizado, t:

Corresponde al valor obtenido en el Presupuesto de Ejecución por Contrata calculado anteriormente: 1858517,40 €.

Una vez conocidos todos los parámetros de la ecuación [Ec. P.4.3.a.], puede hallarse el valor del Beneficio Neto Anual:

$$\begin{aligned} P &= 742914,39 \text{ €} - 0,078 \frac{\text{€}}{\text{€} \cdot \text{año}} \cdot 1858517,40 \text{ €} \\ &\quad - \left(742914,39 \text{ €} - 0,1 \frac{\text{€}}{\text{año}} \cdot 1858517,40 \text{ €} \right) \cdot 0,35 \frac{\text{€}}{\text{€ recibido}} \\ &= 403044,20 \frac{\text{€}}{\text{año}} \end{aligned}$$

4.4. Rentabilidad

La rentabilidad viene determinada por el cociente entre el Beneficio Neto Anual y el Capital Fijo Invertido Promedio, que se corresponde con el Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.), por cien:

$$i = \frac{\text{Beneficio Neto Anual}}{\text{Capital Fijo Invertido Promedio}} \cdot 100 \quad [\text{Ec. P.4.4.a.}]$$

De esta manera, se obtiene:

$$i = \frac{403044,20 \text{ €}}{1858517,40 \text{ €}} \cdot 100 = 21,69 \%$$

4.5. Período de amortización

Corresponde a:

$$i = \frac{\text{Capital Fijo Invertido Promedio}}{\text{Beneficio Bruto Anual}} \quad [\text{Ec. P.4.4.b.}]$$

Obteniéndose:

$$i = \frac{1858517,40 \text{ €}}{742914,39 \text{ €}} = 2,50 \text{ años}$$

La rentabilidad obtenida corresponde al periodo de amortización hallado. Pasado este período de amortización, el beneficio obtenido aumentará y también lo hará la rentabilidad.

Para que se considere que un proyecto es rentable económicamente, debe obtenerse como mínimo un 15% de rentabilidad, por lo que, en base a los resultados obtenidos, queda justificada la viabilidad económica de la planta diseñada en el presente proyecto.

